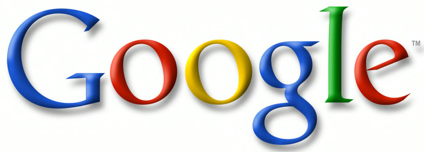
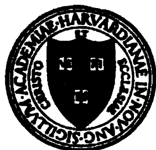



VERITAS
SIGILLUM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
CHRISTO ET ECCLESIAE



ANNALES

DES

TRAVAUX PUBLICS.

ANNALES

DES

TRAVAUX PUBLICS

DE BELGIQUE.

DOCUMENTS SCIENTIFIQUES, INDUSTRIELS OU ADMINISTRATIFS,
CONCERNANT L'ART DES CONSTRUCTIONS, LES VOIES DE COMMUNICATION
ET L'INDUSTRIE MINÉRALE.

TOME XXIX.



BRUXELLES,
E. VAN DOOREN, RUE DE MILAN, 25.
1871.

ANNALES

DES

TRAVAUX PUBLICS.

MINES.

—

DE LA VENTILATION

ET DÉMONSTRATION DE LA NÉCESSITÉ

DE

FRÉQUENTS JAUGEAGES DES COURANTS D'AIR

pour constater

LA SUFFISANCE OU L'INSUFFISANCE DE L'AÉRAGE DES MINES (1);

PAR

M. Charles HAMAL,

INGÉNIEUR PRINCIPAL DES MINES.

Soient, fig. 1, trois couches en exploitation (2), A, B, C, recoupées respectivement en a, b, c, par la bacnure de roulage, et en α, β, γ, par la bacnure d'aérage, la troisième pouvant être considérée comme un dressant de la seconde, celle-ci en plateure de même que A;

b_1b_1, b_2b_2, c_2c_2, trois chantiers d'exploitation en activité, le premier à 1000 mètres et les deux autres à environ

(1) Suite à une notice du même auteur, en date du 14 janvier 1864, intitulée : » *De l'utilité du jaugeage des courants d'air dans les mines et d'un genre d'ap-* » *pareils propres à cette opération,* » et insérée dans le tome XXI des *Annales des travaux publics.* — *Développement et rectification des calculs présentés par le même dans un travail sur l'aérage publié en* 1857. (*Chapitre III,* 1re *section, pages* 106 et 107.)

(2) *Voir* planche I, fig. 1, 2 et 3, et planche II, fig. 4, 5, 6 et 7.

ou arrêté dans l'exécution des travaux préparatoires (1); et, pour ne pas être renfermé dans la mine sans issue immédiatement praticable dans le cas d'un accident qui empêcherait la libre circulation dans le puits d'extraction, on l'armera d'une machine de sauvetage, ou bien on le garnira d'échelles pouvant servir au même but (2).

Cherchons à apprécier, d'après les indications de la théorie et de l'expérience, les quantités d'air nécessaires pour la ventilation d'une mine et les résistances qu'il y aura à vaincre pour les fournir aux ateliers.

A supposer au fond un personnel de 300 ouvriers, on pourrait estimer, s'il n'y avait pas de grisou, à un peu plus de 2^{m3} par seconde, le volume total d'air pur à faire arriver sur les chantiers, soit 3^{m3} si l'on tient compte de l'acide carbonique et des miasmes qui se produisent toujours dans les travaux souterrains pour des causes étrangères à la présence de l'homme, à la combustion des lampes et à la déflagration de la poudre. Mais il faut aussi compenser des pertes qu'il n'est pas rare de voir s'élever à 30, 40 ou 50 p. °/$_{o}$, même dans les mines à grisou où l'aérage est ordinairement plus soigné que dans les autres; c'est ce qui nous fait estimer définitivement, à environ 5^{m3} par seconde la quantité d'air à fournir à ces dernières, dans les conditions posées, *par des moyens d'un effet certain et constamment dirigé dans le même sens.*

(1) Voir le mémoire déjà cité de M. HARZÉ.

(2) Les accidents qui rendent impossible momentanément ou pendant plus ou moins de temps l'usage des puits d'extraction, soit des arrêts forcés de la machine, soit la destruction des guides, soit des éboulements, des coups de feu, des coups d'eau, etc., sont trop fréquents pour qu'on n'insiste pas sur l'impérieuse nécessité de s'assurer d'abord de l'état des puits d'aérage des exploitations placées dans des conditions semblables à celles-ci; de réparer ce puits au besoin et de les pourvoir ensuite d'appareils de sauvetage qui puissent servir en tout temps. Le choix fait ici parmi ces appareils n'a pour but que de procurer l'occasion de faire ressortir l'influence fâcheuse sur la ventilation des échelles placées dans le puits d'air.

Mais ce volume serait loin de suffire pour une mine à grisou. Il n'est pas rare en effet de voir sortir à l'état inflammable, de tailles même beaucoup moins étendues que celles-ci, des courants de $1^{m3},50$ à 2^{m3} par seconde, qu'il faudrait donc doubler au moins pour ne pas avoir d'accidents à attendre, ce qui, avec les travaux préparatoires et les pertes, conduirait à un volume total de 25 à 30^{m3}, c'est-à-dire à un résultat impossible à réaliser vu les dimensions ordinaires de nos puits d'appel et de nos voies souterraines; aussi faut-il, lorsque le dégagement de grisou est aussi abondant, restreindre considérablement l'extraction afin de ne pas s'exposer à des coups de feu qui seraient presque inévitables dans de semblables conditions.

Ici, où l'on suppose un dégagement notablement moindre, on ne comptera que 2 à 3^{m3} par taille, soit, eu égard aux pertes à travers les remblais et en admettant que la couche *C* produise plus de gaz que les autres :

$2^{m3},50$ pour la taille b_1b_1;

$2^{m3},50$ pour la taille b_2b_2;

$3^{m3},00$ pour la taille c_2c_2;

à quoi on ajoutera $0^{m3},50$ pour chacun des ateliers *D, E, F, G*; $0^{m3},80$ pour le montage *H* et $0^{m3},30$ pour la vallée *I*; en tout 11^{m3}, chiffre que nous porterons à $13\ 1/2^{m3}$ afin d'avoir dans la mine même une sorte de magasin où l'on puisera au besoin : cette réserve circulera naturellement sur les chantiers inactifs, *et, soit qu'on puisse l'utiliser intégralement ou en partie, elle n'en sera pas moins utile dans beaucoup de circonstances.*

Quelque compliqué que soit le problème de la ventilation, rien de plus facile que d'arriver à une équation très-simple du mouvement (1), lorsqu'on suppose le régime établi et la densité de l'air constante et égale à celle avec laquelle le fluide s'écoule de la conduite, ce qui assimile celui-ci aux

(1) Voir le *Traité d'exploitation* de M. Combes.

liquides, c'est-à-dire le prive d'élasticité en lui conservant ses autres propriétés.

La fraction de la hauteur motrice absorbée par le frottement est égale à $\frac{\beta}{g}\frac{P}{A} L V^2$, β étant une constante dont la valeur est 0,00315 d'après les expériences de Daubuisson, g, A, P, L et V représentant respectivement la gravité ($9^m,81$), l'aire de la section de la conduite, le périmètre de cette aire, la longueur de la conduite et la vitesse du fluide. L'influence des coudes, plus ou moins grande suivant que le coude est plus ou moins brusque, et celle des passages retrécis non raccordés insensiblement avec la voie en amont et en aval du courant se traduisent par des pertes de force vive qu'on représentera par $\Sigma\, \alpha\, V^2$, somme où la valeur de α variera entre 0 et 1 pour les coudes et sera $\frac{A^2}{m^2 a^2} - 1$ pour les rétrécissements brusques, m étant le coëfficient de contraction, A l'aire de la section de la voie, a celle de la section retrécie : on suppose donc que dans un rétrécissement brusque l'excès de force vive dépensé pour franchir le passage s'éteint improductivement à la sortie de celui-ci.

Désignant par π la dépression manométrique en eau, appelant d la densité du fluide en mouvement, et embrassant tous les termes semblables sous le signe Σ, on aura, en remarquant que les hauteurs motrices correspondant aux pertes de force vive $\Sigma\, \alpha\, V^2$ sont égales à $\Sigma\, \frac{\alpha\, V^2}{2\, g}$:

$$\frac{\pi \times 1000}{d} = \Sigma \frac{\beta}{g}\frac{P}{A} L V^2 + \Sigma \frac{\alpha\, V^2}{2\, g},$$

d'où l'on tirerait la valeur de π en mètres.

Soit $d = 1,20$; en exprimant π en millimètres et les longueurs des diverses parties de la conduite en centaines de mètres, les autres mesures restant évaluées en mètres,

et en admettant qu'on puisse poser $\Sigma \alpha = \Sigma L \Delta$, Δ étant la somme des valeurs de α par 100 mètres (1), on aura :

$$\pi = 0{,}038 \, \Sigma \frac{P}{A} L V^2 + 0{,}06 \, \Sigma L \Delta V^2.$$

Soient Q le volume d'air circulant dans l'une ou l'autre partie de la conduite, de longueur L et de section A, et D le *diamètre moyen* de la voie, c'est-à-dire un diamètre tel qu'on ait $\frac{4}{D} = \frac{P}{A}$, on aura en représentant par H la dépression correspondante :

$$H = \frac{Q^2}{A^3} L \left[\frac{0{,}15}{D} + 0{,}06 \, \Delta\right] \qquad (A)$$

ou, en représentant par K le produit des facteurs qui multiplient $L \, Q^2$:

$$H = K L Q^2 \qquad (A')$$

Nous remarquerons que dans l'application de la formule (A) à une branche quelconque du courant, il faudra souvent fractionner L et, en tout cas, considérer séparément la voie d'entrée et la voie de sortie de l'air.

On admettra dans ce qui va suivre que la signification des lettres $K, L, Q, H, A, D, P, \Delta$, se restreint à la voie d'entrée ou la voie de sortie sans distinction, et on conviendra de représenter ces valeurs par K', L', P'... ou K'', L'', P''... lorsqu'on voudra établir la distinction ; de plus on pourra sans inconvénient ne rien changer à ces signes pour exprimer les données particulières aux puits ; pour les autres voies on se servira en général des mêmes lettres, mais en minuscules.

(1) Bien que le nombre et la forme de ces coudes et des rétrécissements varient beaucoup en général, il sera toujours facile de déterminer suffisamment approximativement la valeur de Δ applicable aux diverses parties de la conduite (puits, voies de roulage, voies d'aérage, etc.), lorsque les conditions de la mine seront bien connues.

Avant d'aller plus loin, il convient d'examiner quel est l'effet d'une perte quelconque ou d'une division du courant sur la charge nécessaire pour déterminer la circulation à partir des points où ces circonstances se présentent. En d'autres termes on peut considérer :

1° la pression exercée par le courant en divers points de la conduite, soit contre les parois de celle-ci, soit contre la tranche fluide immédiatement en aval. En général cette pression va constamment en diminuant depuis l'entrée du courant jusqu'à sa sortie ; la diminution est insensible d'une tranche à l'autre ; l'effet d'une perte ou d'une division quelconque du courant est de changer la loi de décroissance ;

2° les pressions successives dans les diverses tranches du courant entrant en les comparant aux pressions existant dans les tranches correspondantes du courant sortant. La différence, *dépression*, est ce qu'on a appelé π pour les extrémités de la conduite. Comme la pression, elle va en général constamment en diminuant à mesure qu'on avance dans le circuit, et atteint son minimum aux tailles. La figure 2, pl. I, facilitera l'étude des phénomènes qui se passent lorsqu'il y a perte d'air ou division du courant. Les flèches indiquent la marche de l'air ; mais il faut concevoir, pour l'intérieur de la mine, où l'on suppose formation de trois branches, que chacune de celles-ci a sa voie d'entrée et sa voie de sortie entre lesquelles peuvent avoir lieu des pertes. La force nécessaire pour déterminer la circulation intérieure est représentée par $ab = a'b'$, soit en général h, différence entre les pressions existant en a' et e ; h est déterminé par la résistance au mouvement de l'air dans l'une quelconque des trois branches, et pour en avoir la valeur et connaître en même temps l'influence des pertes à l'intérieur, il suffira de suivre ce mouvement dans la branche qui, pour les motifs ci-après indiqués, doit servir à régler le régime de la mine. La dépression totale, π, est représentée par AB. En supposant les conditions des deux cir-

cuits les mêmes dans toute leur étendue, les ordonnées perpendiculaires à *Aa* du côté *Bb* du trapèze *Aa bB* représenteraient donc les dépressions successives entre les puits, et les hauteurs des triangles $a'b'e$, $a''b''e$ $a'''b'''e$, etc., mesureraient celles du circuit intérieur; les pertes viennent changer cette loi en faisant décroître les unes et les autres comme les ordonnées de lignes brisées ou courbes renfermées dans les mêmes figures, et par conséquent, de même que les pressions, plus rapidement que s'il n'y avait pas de filtrations d'air à travers les massifs existant entre les puits ou les remblais construits entre les voies d'entrée et de sortie (1).

Le problème posé se réduit donc, quant aux pertes d'air, à l'étude de deux circuits, l'un intérieur, l'autre *extérieur*, celui-ci, composé de deux puits verticaux se réunissant par le pied avec le premier.

Concevons dans le circuit extérieur deux parties NL et $(1 - N)\,L$, entre lesquelles soient supposées concentrées toutes les fuites d'air allant directement d'un puits à l'autre et constituant des pertes dont la somme sera représentée par $N_1\,Q$.

Représentons les mêmes données par nl et $(1 - n)\,l$ pour l'autre circuit; la somme des courants intérieurs par $Q_1 = (1 - N_1)\,Q$ et la somme des pertes intérieures par $N_2\,Q_1 = N_2\,(1 - N_1)\,Q$.

(1) Théoriquement les pertes doivent croître comme les racines carrées des dépressions ; en réalité elles augmentent souvent plus rapidement encore. Elles sont donc plus à craindre en général dans les puits que partout ailleurs, plus imminentes vers leur orifice que vers le pied, du moins si la ventilation est déterminée par des moyens artificiels ; toutes choses égales d'ailleurs, elles seront plus considérables vers l'origine des voies que vers leurs extrémités ; ici l'on n'aura pas besoin, si l'on ne se borne pas à avoir la quantité d'air strictement nécessaire, de soigner autant les portes d'aérage ; il est même indispensable, pour qu'une mine soit convenablement aérée, que le courant s'y épanouisse en quelque sorte de manière à venir rafraîchir, à diverses hauteurs, l'air arrivant du bas de la taille ; les voies de service de celle-ci ont, du reste, aussi besoin d'air frais, et si tout le courant devait passer, sans se diviser, sur ces ateliers, il gênerait les ouvriers à veine, inconvénient auquel ceux-ci se soustrairaient en barrant les passages.

Le volume total des pertes est $N_1 Q + N_2 (1 - N_1) Q$, soit p, et le volume réellement utilisé, $Q (1 - N_1)(1 - N_2) = Q - p$.

Les lignes brisées dont les ordonnées représentent les dépressions successives sont, d'une part, $B D b$ et, d'autre part, $b'de$.

Soient θ_1 la part de la dépression à attribuer aux pertes du circuit intérieur; θ_2 celle qui est due à la circulation de la perte $N_1 Q$ dans les parties NL du courant extérieur et de la perte $N_2 Q_1$ dans toute l'étendue de la voie de sortie du même circuit; θ la dépression totale à attribuer aux pertes; on aura :

$$\theta = \theta_1 + \theta_2$$

La force motrice nécessaire pour déterminer la circulation intérieure, $a'b' = h$, est, en supposant $n = n' = n''$ et $l = l' = l''$, donnée par la formule (A') écrite comme suit (1) :

$$h = \left[n + (1 - n)(1 - n_1)^2\right] q^2 \, l \, \Sigma k \quad (a'')$$

Celle qui eût suffi pour produire le même effet utile aux tailles, sans pertes, est $a'b''$, ligne que l'on obtient en prolongeant ed jusqu'en b'', et l'on a :

$$a'b'' = (1 - n_1)^2 q^2 \, l \, \Sigma k$$

d'où, pour l'expression de $b'b''$, ou la part de la dépression due aux pertes intérieures :

$$\theta_1 = h - a'b'' = \frac{n\left[1 - (1 - n_1)^2\right] h}{n + (1 - n)(1 - n_1)^2} \qquad (b)$$

(1) On a en effet (voir l'explication précédemment donnée du système de notation adopté) :

$$h = \left[n' + (1 - n')(1 - n_1)^2\right] q^2 \, l' \, k' + \left[n'' + (1 - n'')(1 - n_1)^2\right] q^2 \, l'' \, k'' = \left[n + (1 - n)(1 - n_1)^2\right] q^2 \, l \, \Sigma k.$$

La dépression nécessaire pour la circulation extérieure est :

$$A'B = \pi - h = Q^2 \, \Sigma \left\{ LK [N + (1 - N)(1 - N_1)^2] \right\} \quad (A'')$$

S'il n'y avait eu de pertes, ni à l'intérieur, ni à l'extérieur, elle eût été égale à :

$$Q^2 (1 - N_1)^2 (1 - N_2)^2 \, \Sigma \, LK.$$

d'où :

$$\theta_2 = Q^2 \, \Sigma \left[LK \left\{ N - (1 - N_1)^2 [(1 - N_2)^2 - (1 - N)] \right\} \right] \quad (B)$$

et, en supposant qu'on puisse négliger les résistances dans le puits d'entrée de l'air, ce qui est ordinairement le cas :

$$\theta_2 = \frac{N'' - (1 - N_1)^2 [(1 - N_2)^2 - (1 - N'')]}{N'' + (1 - N'')(1 - N_1)^2} (\pi - h) \quad (B')$$

Si les pertes intérieures étaient nulles on aurait $N^2 = 0$, d'où

$$\theta_2 = \frac{N'' [1 - (1 - N_1)^2]}{N'' + (1 - N'')(1 - N_1)^2} (\pi - h), \quad (B'')$$

valeur que représente dans la figure 2 la ligne BB' obtenue en prolongeant bD jusqu'en B', et qui est donc l'excès de dépression dû au passage du volume N_1Q dans les parties NL du circuit extérieur.

Mais la perte de travail ne dépend pas seulement de la perte de pression, il faut aussi tenir compte du volume p de la perte d'air.

Dans le produit $Q\theta$, expression d'une partie du travail perdu, le volume p n'entre que pour la quantité $p\theta$, tandis qu'il est extrait à la pression totale π ; le terme à ajouter

pour avoir la perte entière est donc $p\ (\pi - \theta)$, et par suite le travail utile ou T^u est :

$$T^u = Q\pi - Q\theta - p\ (\pi - \theta) = (Q - p)\ (\pi - \theta) = Q\ (1 - N_1)\ (1 - N_2)\ (\pi - \theta),$$

expression qu'on eût pu obtenir directement en remarquant que la pression utilisée est $\pi - \theta$ et le volume utilisé, $Q - p$.

Autant les pertes sont nuisibles, autant la division utile de l'air à l'intérieur de la mine est avantageuse.

Le volume Q_1, entrant à l'envoyage, est supposé se subdiviser en ce point, ou non loin de là, en un certain nombre de parties q_1, q_2, q_3... formant autant de branches du courant ; celles-ci se reconstituent en un courant unique à une certaine hauteur au-dessus du niveau de l'envoyage ; h est l'excès de pression de l'air à l'envoyage relativement à sa tension au point de réunion des branches.

Le fluide transmet sa pression à toutes les parties de la mine, où, sous l'action de cette pression, la circulation doit s'opérer dans les conditions indiquées plus haut. Cependant il est une remarque à faire relativement à ces conditions ; elles sont telles, on ne peut en douter, que, pour ne pas altérer les proportions fixées, il faudra probablement recourir dans toutes les branches, hors une, à des moyens artificiels, afin d'équilibrer les obstacles au mouvement, sauf à modifier, après calculs, le projet d'exploitation, ou à améliorer certaines voies, de manière à diminuer autant que possible le nombre de ces obstacles souvent très-incommodes et toujours préjudiciables à l'aérage sous plusieurs rapports.

On établira donc des cloisons transversales dans les conduites où le passage de l'air sera le plus facile, de manière à produire l'équilibre de pression de part et d'autre de chaque point où il y a bifurcation du courant, en laissant circuler dans toutes les directions les volumes d'air néces-

saires au bon aérage de la mine; à cet effet on ménagera dans chacune des cloisons une ouverture de grandeur telle que la résistance que l'air y éprouvera à son passage, jointe à la perte de pression subie ou à subir dans la conduite, représente la pression à exercer à l'origine de celle-ci pour équilibrer les résistances à la circulation de l'air dans l'autre partie du circuit.

Dans cet état de choses il importe peu, pour avoir la dépression intérieure, de suivre l'une plutôt que l'autre des branches du courant; cependant, afin de pouvoir déduire de l'équation du mouvement l'influence réelle des pertes d'air sur l'effet utile, il convient, comme il a été déjà dit, de choisir la branche, où les passages sont restés libres, c'est-à-dire celle qui détermine le régime de la mine.

APPLICATION DES FORMULES A LA MINE FICTIVE REPRÉSENTÉE PAR LA FIGURE I, PL. I.

1) Transformation de ces formules.

a) *Circuit extérieur*. Soient 1° pour le puits d'extraction, que l'on suppose rectangulaire, de 2^m sur 6^m (1), et où l'on négligera les pertes de force vive :

$$L' = 3\,;\ A' = 12\,;\ D' = 3\,;\ \Delta' = 0\,;\ N' = N_1 = 1/3.$$

et 2° pour le puits d'appel, supposé circulaire et garni d'échelles faisant, de 6 en 6 mètres, obstruction de 1/6 avec contraction de 0,8 :

$$L'' = 2{,}6\,; A'' = 7{,}06\,; D'' = 3\,; \Delta'' = 17\left(\frac{36}{0{,}64 \times 25} - 1\right) = 21\,;\ N'' = 0{,}4\,;\ N_1 = 1/3.$$

La formule (A) se développe comme suit :

(1) Voir la note 2 de la page 2.

$$H = H' + H'' = \pi - h = Q^2 \left\{ \frac{L'}{A'^2} \left[\frac{0,15}{D'} + 0,06\,\Delta' \right] \left[N' + (1 - N')(1 - N_1)^2 \right] + \frac{L''}{A''^2} \left[\frac{0,15}{D''} + 0,06\,\Delta'' \right] \left[N'' + (1 - N'')(1 - N_1)^2 \right] \right\}$$

on a donc :

$$\pi - h = Q^2 \left\{ 0,00104 \times 0,63 + (0,0026 + 0,066)\,0,67 \right\}$$
$$= Q^2 \left\{ 0,0007 + (0,0018 + 0,0442) \right\} = Q^2 (0,0007 + 0,046) = 0,0467\, Q^2.$$

L'expression de θ_2, formule (B), devient en posant $N_2 = 1/8$ et en remarquant que Q^2 est égal à $21,4\,(\pi - h)$.

$$\theta_2 = Q^2 (0,00104 \times 0,324 + 0,0686 \times 0,382) = 0,567\,(\pi - h).$$

L'expression approximative (B') de cette même valeur donnerait :

$$\theta_2 = 0,564\,(\pi - h).$$

Enfin, si l'on supposait nulles les pertes intérieures, on aurait $\theta_2 = 0,327\,(\pi - h)$, ou $0,328\,(\pi - h)$ suivant qu'on calculerait la perte par la formule (B) ou par la formule (B'').

b) *Circuit intérieur.*

1° *Chantiers d'exploitation.* — A cause de la subdivision qui est censée se produire utilement près des tailles, on pourra négliger en général les pertes de force vive que subit le courant en ces points des circuits ; mais on tiendra compte dans la mesure du possible des rétrécissements des voies d'aérage par suite des affaissements du terrain, et de ceux des voies de roulage par suite du passage des hommes et des chevaux ; on admettra qu'on ait, par 100 mè-

tres de longueur de voie, un rétrécissement de 1/4 ou de 1/3, suivant que les dimensions de la galerie seront plus ou moins grandes, avec une contraction de 0,70 pour les voies de roulage et de 0,90 pour les voies d'aérage.

On supposera à ces dernières des dimensions plus grandes dans la couche C que dans les autres, soient :

pour C : $a'' = 2$; $d'' = 1,41$; m (coefficient de contraction) $= 0,9$; $\delta'' = 1,2$;

pour A et B : $a'' = 1,32$; $d'' = 1,15$; $m = 0,9$; $\delta'' = 1,8$.

Pour les voies de roulage on aura $a' = 2$; $d' = 1,41$; $m = 0,7$; $\delta' = 2,6$.

On posera, pour tous ces circuits indistinctement, $n_1 = 1/5$; $l = l' = l''$; $n = n' = n'' = 1/3$ (proportion un peu faible, il est vrai, mais qui peut se justifier en considérant que plus les fuites sont rapprochées des tailles, moins elles sont nuisibles).

On aura donc :

$$h = h' + h'' = q^2 \left[n + (1 - n)(1 - n_1)^2\right]$$
$$\left[\frac{l'}{a'^2}\left(\frac{0,15}{d'} + 0,06\,\delta'\right) + \frac{l''}{a''^2}\left(\frac{0,15}{d''} + 0,06\,\delta''\right)\right]$$

soit pour les circuits de la couche C :

$$h' + h'' = q^2\,(0,02\,l' + 0,03\,l' + 0,02\,l'' + 0,014\,l'')$$

pour les circuits des couches A et B :

$$h' + h'' = q^2\,(0,02\,l' + 0,03\,l' + 0,055\,l'' + 0,05\,l'') = 0,155\,l'q^2.$$

La formule (b) donnera $\theta_1 = 0,16\,h$.

2° *Travaux préparatoires aérés par des canards.*

Soient $d' = 0,35$; $a' = 0,096$, d'où $a'^2 = 0,0092$.

Négligeant les résistances dans les voies de retour, on a :

$$h = \frac{q^2}{a'^2}\frac{0,15\, l'}{d'}\left[n' + (1-n')(1-n_1)^2\right] + 0,06\, \Sigma\, \alpha\, v^2$$

Soit $n_1 = n' = 1/3$. Admettons que la vitesse s'éteigne, au sortir de chaque canard, sans restitution de travail, qu'au passage de chaque coude le courant perd la moitié de sa force vive et qu'il y ait 0, 1 ou 2 coudes vers l'origine de la conduite; on aura :

$$h = \frac{q^2}{a'^2}\left(0,28\, l' + 0,03 + 0,06\, \Sigma\, \alpha'\right)$$
$$= q^2\left[30\, l' + 3 + 6\, \Sigma\, \alpha'\right]$$

$\Sigma\, \alpha'$ sera égal à 0, 1/2 ou 1 suivant le nombre de coudes.

3° Le courant $a_2 a_3$ en alimente deux autres qui s'en détachent et mesurent respectivement $0^{m^2},80$ et $0^{m^2},30$; le premier, *I*, passe dans un canard sans coude auquel on appliquera la formule précédente; le second, *H*, dans un royon suivi d'un circuit pour lequel on donne $l' = l'' = 0,5$; $a = 1,60$; $d = 1,25$; $\delta = 2$; $n = 1/3$; $n_1 = 1/5$: Soient, pour le royon dont on négligera les pertes à cause de sa faible longueur, $l_1 = 0,1$; $a_1 = 0,8$; $d_1 = 0,75$; $\Sigma\, \alpha = 3$. On aura :

$$h = \frac{2\, q^2\, l'}{a^2}\left[n + (1-n)(1-n_1)^2\right]\left[\frac{0,15}{d} + 0,06\,\delta\right]$$
$$+ \frac{q^2}{a_1^2}\left[\frac{0,15}{d_1}\, l_1 + 0,06\, \Sigma\, \alpha\right]$$

d'où $h = (0,036 + 0,023) + (0,02 + 0,18)$.

2) Résultats des calculs.

Les dépressions nécessaires aux divers circuits, considérés comme s'ils étaient indépendants entre eux, sont indiquées dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES COURANTS.	VALEURS DE H' ou h'.	VALEURS DE H'' ou h''.	VALEURS DE H ou h.	PART DE LA DÉPRESSION à attribuer au frottement.	PART DE LA DÉPRESSION à attribuer aux changements brusques de vitesse.
Circuit extérieur	0,28	18,40	18,68	1,00	17,60
Circuits intérieurs :					
1° Chantier a_1a_1 . $q=1$; $l'=l''=10$	0,50	1,05	1,55	0,75	0,80
2° Chantier a_2a_2 . $q=1{,}50$ $l'=l''=9$ (Résultats 1° à multiplier par 2,25×09 = 2,025).	1,01	2,13	3,14	1,52	1,62
a) Sous-courant *H*.	—	—	0,26	0,06	0,20
b) Sous-courant *I*	—	1,62	1,62	1,35	0,27
3° Chantier b_1b_1 . $q=2{,}5$; $l'=l''=10$ (Résultats 1° à multiplier par 6,25) . .	3,13	6,57	9,70	4,70	5,00
4° Chantier b_2b_2 . $q=2{,}5$; $l'=l''=8$. (Résultats précédents à multiplier par 0,8)	2,50	5,26	7,76	3,76	4,00
5° Chantier c_1c_1 . $q=1$; $l'=l''=10$.	0,50	0,34	0,84	0,40	0,44
6° Chantier c_2c_2 . $q=3$; $l'=l''=8$ . . (Résultats précédents à multiplier par 7,2)	3,60	2,45	6,05	2,88	3,17
7° Atelier *D*. 1 jeu de canards. 2 coudes. $l'=1$; $q=0{,}5$.	—	9,75	9,75	7,50	2,25
8° Atelier *E*. 1 jeu de canards. 1 coude. $l'=0{,}5$; $q=0{,}5$.	—	5,25	5,25	3,75	1,50
9° Atelier *F*. 1 jeu de canards. Sans coude. $l'=0{,}5$; $q=0{,}5$	—	4,25	4,25	3,75	0,50
10° Atelier *G*. 1 jeu de canards. 1 coude. $l'=0{,}5$; $q=0{,}5$.	—	5,25	5,25	3,75	1,50

Il faudrait conclure de ce tableau que le frottement influe pour une bien minime part sur la résistance à la circulation de l'air dans les puits (1); à peu près pour la moitié sur la force nécessaire pour la circulation intérieure des courants

(1) Dans beaucoup de mines les puits d'appel sont composés de plusieurs sections; les coudes y ralentissent alors considérablement la circulation et peuvent devenir presque aussi nuisibles que les paliers des échelles, surtout si, comme

vers les chantiers d'exploitation, et pour la plus grande part sur la ventilation des ateliers aérés par des canards.

Quoi qu'il en soit, ce serait, d'après les résultats indiqués, le circuit D qui, dans les conditions posées, déterminerait le régime de la mine ; la dépression à l'envoyage devrait cependant dépasser $9^{mm},75$ de la hauteur nécessaire pour faire circuler le volume de 11 mètres cubes dans les portions Ab de la bacnure de roulage et $\beta\alpha$ de celle d'érage, celui de $13^{m3},50$ dans la voie $\alpha\alpha'$, puis dans la bacnure $\alpha'\alpha''$, et enfin celui de 1^{m3} dans la voie bb', mêlé à un autre courant (d'où résulte un accroissement de résistance dont il faudrait tenir compte), puis dans la bacnure $b'b''$; on peut négliger le surcroît de résistance dû à ce dernier volume, mais non les autres.

Soient 10, 60 et 40 mètres les longueurs de Ab, $\beta\alpha$, et $\alpha\alpha' + \alpha'\alpha''$, et posons $a = 3$ et $d = 1,70$ pour chacune de ces voies; on trouvera $1^{mm},5$ pour l'excès de hauteur dû au frottement, et on pourra doubler cette quantité afin de tenir compte de l'influence des coudes, etc.

3) Établissement du régime de la mine.

Si les choses restaient en cet état, on aurait à l'envoyage $h = 12^{mm},75$, pression que l'on suppose pouvoir se transmettre intégralement jusqu'en a, et, avec réduction de 3^{mm}, jusqu'en b et même jusqu'en c; il faudrait donc créer des obstacles presque partout, ce qui entraverait considérablement le service de la mine. Heureusement on peut arriver au but d'une autre manière tout en diminuant les inconvé-

cela arrive souvent, les voies qui relient les sections entre elles sont petites, mal entretenues et raccordées sans soin avec les parties verticales de la conduite. Il faut ajouter que les puits d'appel n'ont qu'exceptionnellement 3^m de diamètre et que les conditions dans lesquelles ils se trouvent rendent souvent impossible le développement de l'extraction.

nients d'une pression intérieure déjà élevée. Tout d'abord on voit que l'atelier D ne limitera pas le choix des moyens puisqu'il est facile d'y placer des canards d'un plus grand diamètre ou même un double jeu de canards. On remarque ensuite qu'il n'y aura pas grand inconvénient à laisser l'équilibre s'établir naturellement dans les chantiers d'exploitation en activité, sauf à diminuer l'importance de l'un pour accroître celle de l'autre, et qu'il serait facile, en tout cas, d'arriver au même résultat en améliorant certaines voies : supposons qu'on ait recours au premier moyen, le plus facile, mais non toujours cependant le meilleur.

Soient x la nouvelle dépression au point b ; y_1, y_2, y_3 les rapports de nouveaux volumes d'air des chantiers b_1b_1, b_2b_2, c_2c_2, aux anciens; q_1, q_2, q_3, ces derniers volumes.

La dépression x devant suffire pour faire circuler les nouveaux volumes sur les ateliers indiqués, et l'état des circuits n'étant pas changé, on aura :

$$x = 9{,}70\, y_1^2 = 7{,}76\, y_2^2 = 6{,}05\, y_3^2,$$

d'où $y_2 = 1{,}12\, y_1$; $y_3 = 1{,}27\, y_1$

La somme des volumes des 3 couches restant, par supposition, égale à 8$^{m^3}$, on aura en outre :

$$y_1q_1 + y_2q_2 + y_3q_3 = y_1\,(2{,}50 + 1{,}12 \times 2{,}50 + 1{,}27 \times 3) = 9{,}11\, y_1 = 8$$

d'où :

$$y_1 = 0{,}88;\quad y_2 = 0{,}98;\quad y_3 = 1{,}116$$
$$y_1q_1 = 2{,}20;\quad y_2q_2 = 2{,}45;\quad y_3q_3 = 3{,}35$$
$$\text{et } x = 7^{mm}{,}48.$$

Les conditions du chantier b_2b_2 resteraient donc à peu près les mêmes; on n'aurait plus que 2$^{m^3}$,20 au lieu de 2$^{m^3}$,50 pour le chantier b_1b_1, tandis que, pour le chantier c_2c_2, le volume s'élèverait de 3$^{m^3}$ à 3$^{m^3}$,35 ; la dépression à

l'envoyage serait de $7,48 + 3 = 10^{mm},48$ au lieu de $12^{mm},75$.

Cette nouvelle répartition de l'air permettrait d'extraire un peu plus dans le chantier c_2c_2; mais il faudrait, par contre, activer un peu moins la taille b_1b_1. Elle aura en outre l'avantage de diminuer notablement la pression à l'intérieur et de ne pas nécessiter l'emploi de portes dans les couches en exploitation.

L'équilibre étant établi de cette manière dans les chantiers d'exploitation, ou mieux encore par amélioration des voies d'aérage des tailles b_1b_1, b_2b_2, il reste à produire le même effet, au moyen de portes à guichet, dans les autres ateliers.

Soient a l'aire de l'ouverture du guichet, m le coefficient de contraction applicable à ce passage; h_1, hauteur exprimée en millimètres d'eau, la mesure de la résistance à créer; $d = 1,20$ la densité de l'air, celle de l'eau étant représentée par 1000 ; A la section de la voie où est placée la porte, et q le volume de la branche qui doit passer à travers le guichet; on aura :

$$\frac{q^2}{m^2a^2} - \frac{q^2}{A^2} = \frac{2\,g\,h_1}{1000} \times \frac{1000}{d} = \frac{2\,g\,h_1}{d}$$

d'où, en appelant h^2 la dépression également en millimètres d'eau correspondant à la vitesse $\frac{q}{A}$:

$$a = 0,25\,\frac{q}{m}\,\frac{1}{\sqrt{h_1 + h_2}},$$

expression où $h_2 = (0,25)^2\,\frac{q^2}{A^2} = \frac{q^2}{A^2}\frac{d}{2\,g}$, valeur qui donne, ainsi que cela doit être, $a = A$ quand on suppose $h_1 = 0$, m étant alors égal à 1.

Si A est très-grand par rapport à a :

$$a = 0,38 \frac{q}{\sqrt{h_1}},$$

en faisant dans ce cas, l'orifice étant en minces parois, $m = 0,66$.

Si l'on veut partager la résistance entre n guichets d'égal effet, l'ouverture de chacun d'eux sera de $0,38 \frac{q}{\sqrt{\frac{h_1}{n}}} = a\sqrt{n}$ puisque l'obstacle à créer se divise alors en n parties, chacune égale à $\frac{h_1}{n}$.

Peu importe du reste, quant à l'effet à obtenir, le point du circuit où l'on installe le régulateur, à moins que du courant appelé dans ce circuit ne se détachent des courants particuliers, car alors, sa place étant assujettie à cette condition qu'aux endroits où s'effectuent les prises d'air, la pression soit suffisante pour alimenter les courants détachés, le plus sûr moyen, comme le plus simple du reste, de satisfaire à cette condition est de placer les régulateurs en ces points mêmes.

Pose des régulateurs.

On suppose une dépression de $10^{mm},48$ à l'envoyage et au point a; de $7^{mm},48$ aux points b, b'' et c. On ne placera en chaque point qu'un seul guichet; mais il est facile d'en établir plusieurs d'après la règle indiquée.

1° *Chantier* a_1a_1. $h_1 = 10,48 - 1,55 = 8,93$ (voir page 21); $q = 1$; $a = 0^{m2},13$ (aire de l'ouverture du guichet).

2° *Chantier* a_2a_2. $h_1 = 10,48 - 3,14 = 7,34$.

On admet qu'il passe 1^{m3} d'air en h et $0^{m3},50$ en i, courants dont doivent se détacher $0^{m3},80$ et $0^{m3},30$, sous des dépressions respectives de $0^{mm},26$ et $1^{mm},62$ pour alimenter les ateliers H et I; soit donc :

pour le guichet de la porte h : $a = 0^{m2},028$;

pour la prise d'air dans un dormant de cette porte par un petit canard livrant cet air au royon de H (1) : $h_1 =$ 7,08 et, pour $m = 1$, $a = \frac{0,25 \times 0,80}{m} \frac{1}{\sqrt{h^1}} = 0^{m^2},074$.

pour le guichet de la porte i : $a = 0^{m^2},028$;

pour l'ouverture à laisser à l'orifice du canard de l'atelier I : $h_1 = 5,72$, $h_2 = 0,61$ (la vitesse de l'air dans le canard étant de $\frac{0,30}{0,096}$) et, en faisant $m = 0,8$, $a =$ $0^{m^2},038$.

3° *Chantier* c_1c_1 : $q = 1$; $h_1 = 6,64$; $a = 0^{m^2},15$.

4° *Atelier D* : Adjonction d'un second jeu de canards qui réduira la résistance à $2^{mm},44$, $q = 0,25$ pour chaque canard; $h_1 = 5,04$; $h_2 = 0,42$, et, pour $m = 0,8$, $a =$ $0^{m^2},036$ (2).

5° *Atelier E* : $q = 0,50$; $h_1 = 2,23$; $h_2 = 1,63$, et, pour $m = 0,9$, $a = 0^{m^2},073$.

6° *Atelier F* : $q = 0,50$; $h_1 = 3$; $h_2 = 1,63$, et, pour $m = 0,9$, $a = 0^{m^2},066$.

7° *Atelier G* : $q = 0,50$; $h_1 = 1,35$; $h_2 = 1,63$, et, pour $m = 0,9$, $a = 0^{m^2},082$.

4) Emploi de la force motrice et effet utile.

Q étant égal à 20^{m^3} par seconde, π à $29^{mm},16$ (18,68 + 3 + 7,48) la force totale employée est de 583^{km} ou 7,78 chevaux; elle se répartirait ainsi d'après les résultats calculés.

(1) Une disposition moins embarrassante pour le service eût pu être adoptée si l'on ne se fût posé pour règle l'écoulement des gaz vers le puits d'appel.

(2) Il est à remarquer qu'il est bien préférable en général d'arriver à l'équilibre en obstruant, comme on le fait ici, les canards à l'entrée qu'en en diminuant les diamètres, puisqu'ainsi on diminue les fuites et les soins à donner aux joints.

Force totale. $Q\pi = 7,78$ chevaux.					
Puits.	puits d'entrée . 0,07	4,98	frottement	0,27
	puits de sortie . 4,91		changet[s]. brusques de vitesse.	4,71
Bacnures		0,80		
Couches.	voies de roulage. 0,65	2,00	frottement	1,02
	voies d'aérage . 1,35		changet[s]. brusques de vitesse.	0,98

Les pertes de pression dues aux fuites sont :

$$\theta_1 = 0{,}16\ h = 0{,}06\ \pi = 1^{mm}{,}75$$
$$\theta_2 = 0{,}567\ (\pi - h) = 0{,}37\ \pi = 10{,}78$$

d'où $\theta = 0{,}43\ \pi = 12{,}53$.

L'expression du travail utile,

$$T^u = Q\,(1 - N_1)\,(1 - N_2)\,(\pi - \theta)$$

devient, N_1 et N_2 étant respectivement égaux à 1/3 et 1/5 :

$$T^u = (1 - 0{,}47)(1 - 0{,}43)\,Q\pi = 0{,}30\,Q\pi\,(= 2ch_x{,}33),$$

ou 0,30 du travail théorique :

La perte de travail due aux fuites se subdivise comme suit :

5,46 chevaux { à l'extérieur 3,50
à l'intérieur 1,96 }

On peut admettre que le travail doit être fourni tout entier par des moyens mécaniques ; ce sera généralement le cas, du moins en été.

Or, on sait que les ventilateurs ne rendent que 20, 30, 40, 50, rarement 60 p. °/₀ du travail qui leur est réellement transmis, et, en supposant que le rendement de la machine motrice soit de 60 p. °/₀, on voit qu'il faudra, suivant le degré d'efficacité de l'appareil d'aérage, une machine de 66, 44, 33, 26 ou 22 chevaux, et que, suivant le même degré d'efficacité, l'effet utile général sera de 3 1/2, 5 1/4, 7, 8 3/4 ou 10 1/2 pour °/₀. Ce n'est que exceptionnellement, avec des appareils très-perfectionnés et parfaitement entre-

tenus, qu'on peut obtenir des rendements plus forts, sans rien changer à l'état de la mine.

Ces forces devraient être théoriquement à peu près doubles, si l'on voulait restreindre le diamètre du puits d'appel à 2 mètres tout en laissant les échelles dans ce puits; il n'est même pas douteux que pratiquement elles ne dussent être beaucoup plus que doublées attendu que l'expérience démontre (1) que les fuites croissent plus rapidement que les racines carrées des dépressions.

Il est très-probable que, loin d'avoir exagéré l'influence de ces pertes, nous sommes resté au-dessous de la moyenne de ce qu'on pourrait observer à cet égard dans nos exploitations.

Si les pertes croissaient proportionnellement aux racines carrées des dépressions, le travail utile resterait constamment égal à $0,30\ Q\pi = (Q - \pi)(\pi - \theta)$, quelque variation que subît π sous la seule influence de la machine motrice.

En effet, dans l'expression de ce travail, $T'^{u} = (Q' - p')(\pi' - \theta')$, relative à d'autres conditions de marche de l'appareil moteur, on aura théoriquement :

$$p' = p\sqrt{\frac{\pi'}{\pi}} = p\frac{Q'}{Q};\ \text{d'où}\ \frac{p'}{Q'} = \frac{p}{Q}$$

$$\theta' = \theta\frac{p'^2}{p^2} = \theta\frac{\pi'}{\pi};\ \text{d'où}\ \frac{\theta'}{\pi'} = \frac{\theta}{\pi}$$

$$T'^{u} = Q'\pi'\left(1 - \frac{p'}{Q'}\right)\left(1 - \frac{\theta'}{\pi'}\right) = Q'\pi'\left(1 - \frac{p}{Q}\right)\left(1 - \frac{\theta}{\pi}\right) =$$

$$\frac{Q'\pi'(Q - p)(\pi - \theta)}{Q\pi} = 0,30\ Q'\pi'$$

(1) Voir la « *Notice sur l'emploi du manomètre comme indicateur de l'aérage* » *dans les mines par* C. Hamal *et* G. Schorn, *ingénieurs des mines* » insérée dans le tome XXII des *Annales des travaux publics*.

Mais, ainsi qu'il vient d'être dit, la proportionnalité sur laquelle repose cette conséquence, n'existe ou du moins ne se vérifie que rarement en pratique ; le plus souvent, en effet, sous l'action même du courant ou de la pression du fluide, les canaux s'élargissent et livrent un plus facile passage à l'air ; on comprend donc parfaitement que les pertes doivent croître plus rapidement que les racines carrées des dépressions, et il est à remarquer que cette perturbation en entraîne d'autres qui font que le volume total extrait de la mine ne suit plus lui-même cette loi.

Pratiquement donc si, pour le volume Q extrait sous la dépression π on a $T^{m} = 0,30\,Q\,\pi$, on ne pourra pas poser, conformément à la théorie, pour d'autres valeurs de Q et de π égales à $Q'\,\pi'$:

$$T'^{m} = 0,30\,Q'\,\pi' = 0,30\,Q\sqrt{\frac{\pi'}{\pi}} \times \pi\,\frac{Q'^2}{Q^2}.$$

Si l'on suppose que π aille en croissant, les volumes extraits seront plus grands que $Q\sqrt{\frac{\pi'}{\pi}}$, mais les différences tiendront à une progression de plus en plus rapide des pertes combinées avec une progression de plus en plus lente des quantités d'air utilisées, de telle sorte que les valeurs de π' s'écarteront davantage encore que celles de Q' de leurs valeurs théoriques, mais en sens inverse, et que le coefficient de l'effet utile ira constamment en diminuant, et qu'il arrivera bientôt une limite (1) à laquelle l'excès d'air dû à l'accroissement de la force motrice sera entièrement absorbé par les pertes.

---

(1) Voir la notice prérappelée.

8) Perturbations occasionnées dans l'aérage par le personnel et le matériel employés dans les mines, ou par des dégagements subits de grisou.

Le jeu des vases d'extraction, le passage des hommes, des chevaux et des chariots dans les voies, l'amoncellement des produits de l'extraction aux tailles; les négligences ou les fautes commises par les agents préposés à la surveillance de la ventilation intérieure et de la machine d'aérage, etc., doivent figurer parmi les causes perturbatrices du premier genre.

Il n'est guère possible de soumettre au calcul que celles de ces perturbations qui sont dues à l'ouverture des portes. Cette question importante a été traitée avec tous les développements qu'elle comporte par feu M. Devaux (1); il suffira de rappeler ici que, par suite du nouveau régime qui s'établit lorsqu'une porte reste quelque temps ouverte, la dépression intérieure diminue notablement, même lorsque l'on ne vient pas modérer intempestivement la vitesse du ventilateur, laquelle tend alors à s'accroître; que cette diminution est assez considérable en général, pour permettre le fonctionnement de divers appareils nommés indicateurs d'aérage, et enfin qu'on ne doit pas tarder de mettre fin à cette situation anormale qui pourrait en peu de temps faire naître un grand danger.

Les dégagements subits de grisou peuvent arrêter momentanément la circulation de l'air et ont occasionné un grand nombre de catastrophes. En prévision de ce danger, on devrait avoir de larges passages toujours ouverts vers le puits d'appel et des soins tout particuliers pour rendre l'aérage aussi parfaitement ascensionnel que possible.

(1) Voir « *Notice sur la division de l'aérage dans les mines,* » par A. DEVAUX, inspecteur général des mines, insérée dans le tome XX des *Annales des travaux publics.*

δ) Examen des ressources disponibles à l'intérieur des travaux pour l'aérage de certains chantiers.

1° La pression $h = 10^{mm},78$ suffisant pour faire circuler $2^{m^3},75$ vers le chantier a_2a_2, il sera facile de dévier au besoin tout le courant a_1a_1 sur le courant a_2a_2 sans nuire en rien à l'aérage des autres travaux en activité;

2° On pourra de même amener sur les ateliers *G* ou *F* tout ou partie de l'air qui circule vers le chantier c_1c_1;

3° On pourra tout aussi facilement activer l'aérage des ateliers *D* et *E* sans nuire notablement aux autres courants.

γ) Examen des conditions de la mine.

1° *Sous le rapport de la facilité plus ou moins grande avec laquelle le gaz peut s'écouler vers le puits d'appel.* Les conditions semblent assez satisfaisantes sous ce rapport, bien qu'il eût été très-désirable d'augmenter les dimensions des voies de sortie de l'air; mais on n'a pas voulu trop s'écarter des dimensions habituelles. On s'est attaché du reste à rendre les courants aussi parfaitement ascensionnels que possible, cette marche facilitant la diffusion et la marche contraire pouvant retarder *assez longtemps* la circulation, en cas de production de bouffées successives de gaz, etc., pour qu'un grand danger se manifeste aux tailles (1);

2° *Sous le rapport des obstacles offerts au reflux des gaz*

(1) Avant que ces bouffées de gaz puissent restituer le travail perdu pendant leur descente, il peut en effet s'écouler un temps assez long pour faire naître le danger en question. Une production extraordinaire de grisou, d'une vingtaine de mètres cubes par exemple, pourra très-bien diminuer la densité de l'air d'une galerie d'aérage de 500 mètres de longueur sur toute son étendue; si la descente est de 70 mètres, la force retardatrice s'élèvera progressivement jusqu'à équivaloir à une dépression d'environ 1^{mm} d'eau; elle diminuera donc notablement la vitesse du courant pendant quelque temps, et pourra en maintes circonstances l'arrêter tout-à-fait avant restitution; cela fera en un mot, ou l'effet d'un guichet temporaire ou celui d'une *estoupure*.

vers l'envoyage, etc. Même observation que précédemment. — Une porte à guichet, très-solide, s'ouvrant dans le sens même du courant, se refermant par l'action de son propre poids, et placée dans la voie de roulage assez près du pied de la taille pour qu'elle ne gêne pas la circulation de l'air sur les parties supérieures de celle-ci (et aussi pour qu'elle ne puisse nuire si l'on avait à craindre des coups d'eau) réagirait, semble-t-il, très-favorablement contre ces reflux ; des portes du même genre pourraient se trouver dans les autres voies de service de la taille ;

3° *Sous celui de l'étendue probable du désastre en cas d'une inflammation de grisou.* On doit présumer, d'après les dispositions adoptées, qu'une semblable inflammation aurait des effets très-restreints. Il semble que les portes dont il vient d'être parlé seraient également très-utiles sous ce rapport (1) ;

4° *Sous celui des lieux de refuge pour l'ouvrier dans l'intérieur de la mine.* Ils sont nombreux, mais peuvent être d'un difficile accès à cause de leur éloignement et des éboulements possibles dans les voies de roulage. Si les couches étaient très-rapprochées on pourrait les réunir de distance en distance par des bouveaux rétrécis à l'entrée et à la sortie, et fermés en ces points par des portes très-solides avec verrous ;

et enfin 5° *Sous celui des moyens de sauvetage.* Les conditions semblent assez satisfaisantes sous ce rapport puisque l'envoyage est accessible par deux puits qui ne peuvent guère faire défaut en même temps, et que *chaque* chantier

(1) Le surcroît de dépression dû à ces portes se calculerait par la formule $h = 0{,}0625\left(\frac{q^2}{m^2a^2} - \frac{q^2}{A^2}\right)$; soit pour chaque porte $q = 0{,}8$; $a = 0^{m^2},5$; $A = 1^{m^2},5$ et $m = 0{,}8$, d'où $h = 0^{mm},24$. On éviterait cette perte si l'on pouvait disposer la porte de manière à rester au contraire ouverte par l'action de son propre poids et à ne se fermer que lorsqu'il y aurait reflux du courant. Théoriquement il faudrait, ainsi qu'il est dit dans notre opuscule sur l'aérage prérappelé, produire en même temps l'effet inverse dans les voies d'aérage.

d'exploitation a également deux voies dont aucune ne doit être supprimée, même en supposant les couches réunies de distance en distance par des galeries à travers bancs; celles-ci constitueraient d'ailleurs un moyen de sauvetage excellent.

Il sera du reste très-prudent d'avoir à l'établissement, entretenus en bon état, tous les appareils nécessaires pour pouvoir pénétrer dans un milieu irrespirable et y rétablir l'aérage le plus tôt possible (1).

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES PRINCIPAUX RÉSULTATS OBTENUS. (fig. 3, pl. I.)

Soient $AaeE$ le circuit extérieur où entre et d'où sort le volume Q d'air par seconde avec une perte de 1/3 au point C, AC étant le 1/3 de Aa; ae la projection du circuit intérieur qui détermine le régime de la mine, q le volume d'air qui entre dans le circuit ou en sort par seconde; 1/5 q la perte que subit le courant au point c; $ac = 1/3\ ae$.

$AB = \pi$; $AA' = ab = h$; $A'B = \pi - h$; $BB' = 0,33\ (\pi - h) = 0,21\ \pi$; $bb' = 0,16\ h = 0,06\ \pi$; $= \theta_1$; $BB'' = 0,57\ (\pi - h) = 0,37\ \pi = \theta_2$; $BB''' = 0,43\ \pi = \theta$; d'où $B'B''' = 0,22\ \pi$ et $AB''' = 0,53\ \pi$.

(1) On néglige presque toujours ce soin à défaut duquel la vie des ouvriers et les mines sont souvent en danger. Dernièrement encore on a failli perdre, dans un charbonnage de la province de Liége, un puits où le feu s'était déclaré, faute de pompes immédiatement disponibles et d'un nombre suffisant de tuyaux, comme aussi d'appareils permettant de pénétrer, à une faible profondeur, dans un milieu d'air chaud chargé de fumées.

C'est encore ici le lieu de rappeler l'insuffisance intolérable des mesures prises par certains exploitants pour permettre la descente et la remonte des ouvriers en cas d'accident. Chacun des envoyages, notamment, doit être facilement accessible par deux voies distinctes communiquant aussi directement que possible entre elles (à chaque étage) et avec la surface.

La somme des pertes intérieures est égale à 0,133 Q, et on a en faisant dans ladite figure $AR = Q$; $P'R = 0,333\ Q$; $PP' = 0,133\ Q$, d'où $AP = 0,53\ Q$:

$AR \times BB' + P'R \times AB''' = Q \times 0,21\ \pi + 1/3\ Q \times 0,57\ \pi = 0,40\ Q\ \pi$.

$AR \times B'B''' + PP' \times AB''' = Q \times 0,22\ \pi + 0,133\ Q \times 0,57\ \pi = 0,30\ Q\ \pi$.

$AP \times AB''' = 0,53\ Q \times 0,57\ \pi = 0,30\ Q\ \pi$.

La première de ces expressions représente la perte de travail due aux fuites entre les puits; la seconde celle qui est due aux fuites intérieures, et la troisième, l'effet utile.

Des perpendiculaires abaissées sur les lignes Aa et ae en partant des lignes brisées BDb et bde représenteraient les dépressions successives; elles partiraient des lignes droites $B'''b'$ et $b'e$ si le même effet utile était obtenu sans perte.

Soit $\pi' = 1,5\ \pi = AM$ une nouvelle valeur de la dépression due à une accélération de la vitesse de la machine motrice; si, conformément à la théorie, les volumes d'air augmentent dans toutes les parties de la conduite proportionnellement à la racine carrée de cette valeur, les lignes brisées MNm et mne limiteront les nouvelles dépressions et l'effet utile sera encore 0,30 $Q'\ \pi'$.

Mais ce résultat ne se vérifiera pas par suite des changements que subira la conduite sous la nouvelle dépression à laquelle elle sera soumise :

Au lieu de $Q' = Q\sqrt{1,5} = 1,24\ Q$, on aura par exemple, $Q' = 1,50\ Q = AS$. Le plus souvent la différence portera principalement sur les pertes entre les puits; supposons que celles-ci s'élèvent du tiers, proportion théorique, à la moitié du volume total; l'augmentation du volume intérieur, qui eût dû être théoriquement de $2/3\ Q\ (\sqrt{1,5} - 1) = 0,16\ Q$, ne sera que de $0,75\ Q - 0,67\ Q = 0,08\ Q$,

et en admettant qu'à l'intérieur, où la dépression sera peu accrue, la loi du mouvement ne change pas, on y aura $h' = 1,17\ h = 12^{mm},26 = 0,28\ \pi' = am'$, $\theta_1 = 0,16\ h' = 0,045\ \pi'$, et une somme de pertes égales à 0,1 Q'. Par la formule (B'') on aura la valeur de MM' et par la formule (B') celle de MM'' en faisant dans l'une et dans l'autre $N_1 = 1/2$; la première donnera $MM' = 0,54\ (\pi' - h')$, et la deuxième, $MM'' = \theta_2 = 0,7\ (\pi' - h') = 0,50\ \pi'$; d'où $\theta = 0,545\ \pi' = MM'''$. Les dépressions se limiteront donc aux lignes $MN'm'$ et $m'n'e$, et l'effet utile, $AT \times AM'''$, sera réduit à $0,40\ Q' \times 0,455\ \pi' = 0,18\ Q'\ \pi'$. Pour augmenter d'un 12e le volume d'air utilement employé, ce qui nécessite un déploiement plus que double de force, on a donc réduit l'effet utile à peu près à moitié. Bien que les données de ce calcul soient prises au hasard, il est certain qu'elles pourraient s'appliquer à un grand nombre de mines et que beaucoup d'entre elles sont même dans des conditions plus mauvaises. Il y a donc une dépression-limite très-restreinte qu'il ne faut pas dépasser dans la plupart de nos exploitations. Il est à noter que le même résultat défavorable tient bien souvent aussi uniquement à l'état de la conduite, et que, faute de manomètres à l'intérieur et à l'extérieur, cet état vicieux reste plus ou moins longtemps inaperçu parce que certaines parties de la mine ne peuvent pas toujours être facilement visitées.

Ces calculs faits, il reste à s'assurer par des expériences jusqu'à quel point les prévisions théoriques sont fondées, et à introduire dans le régime de la mine les modifications que les résultats de ces expériences feront reconnaître nécessaires.

La nécessité de ces opérations résulte en général de ces considérations :

1° Que, quelque bien renseigné qu'on puisse être sur l'état des circuits, on se trompera toujours, soit sur leurs dimensions véritables, le nombre de leurs coudes, celui de leurs sections rétrécies, etc., soit sur le chiffre des pertes qu'ils subissent ; d'où l'impossibilité de faire autre chose par le calcul que d'étudier un ensemble de faits préalablement constatés en les appliquant à une conduite dont les imperfections sont plus ou moins bien connues afin d'être dans le vrai lorsqu'on en tire des conséquences pour l'amélioration générale de la ventilation ;

2° Que les appréciations de sentiment sur lesquelles on se fonde presque toujours pour régler la distribution, ne sont pas et ne peuvent être traduites en chiffres et qu'ainsi on est exposé à des erreurs grossières lorsqu'on les soumet au raisonnement ;

3° Que, par cela même que ce sont des appréciations de sentiment, il n'est guère possible au directeur de redresser les erreurs que l'on commet si facilement lorsqu'on fixe l'emplacement des portes d'aérage ou qu'on règle les guichets ;

4° Que l'on n'a, le plus ordinairement, aucune idée de la dépression qui existe aux divers points de la mine, bien que ce soit là un élément bon à connaître dans beaucoup de circonstances ;

5° Que les changements qui surviennent si facilement dans la ventilation peuvent avoir des conséquences excessivement graves, et qu'il est par conséquent désirable de les voir constater chaque jour en consignant dans un carnet les résultats des expériences faites à cet effet.

et 6° Que les résultats de ces expériences soigneusement relatés, fourniraient au directeur un excellent moyen de s'assurer si les agents chargés de la surveillance de l'aérage remplissent convenablement leurs obligations.

Quelque simples que soient les appareils qui peuvent être employés pour mesurer la dépression ; quelque précises que puissent être leurs indications, ainsi que l'a dé-

montré M. Devaux, il est rare d'en voir dans les mines, ni aux envoyages, ni aux endroits où sont établis des régulateurs, ni à la surface; les indications de ces instruments, relevées chaque jour et comparées entre elles suffiraient cependant déjà pour pouvoir juger, les dimensions principales de chaque circuit étant connues, de l'état général de la ventilation, et des mesures à prendre pour l'activer, au besoin, par des moyens plus efficaces que ceux qu'offrent l'usage de petits ventilateurs, mus à bras à l'intérieur, ou même l'installation sur le puits d'appel de grands ventilateurs d'une force exagérée (1).

Le jaugeage des courants d'air n'est guère plus fréquent, et presque jamais on n'y procède aux endroits de la mine où ces opérations seraient le plus nécessaires, c'est-à-dire aux tailles.

Jusqu'aujourd'hui en un mot, à part quelques exceptions, les expériences dont il s'agit ont été presque entièrement négligées; nous ne voulons parler, bien entendu, que des expériences qui devraient être faites régulièrement, chaque jour, par les agents de la mine eux-mêmes, et non de celles que fait de temps à autre l'administration des mines; les observations auxquelles donnent presque toujours lieu les résultats des dernières, lesquelles ne constatent qu'un état momentané pouvant souvent changer du jour au lendemain,

(1) Il serait dangereux de vouloir remédier, au moyen de ventilateurs aussi puissants, à une situation vicieuse résultant de trop petites dimensions de voies ou d'une mauvaise distribution de l'air. Les soins à avoir pour l'aérage de la mine, dans toutes les parties de celle-ci, sont difficiles quand elle est soumise à cette sorte d'épreuve, et un tel déploiement de force ne devient pas seulement inutile à une certaine limite, mais il peut devenir compromettant par ses effets destructifs sur la conduite. L'exemple suivant, quoique se rapportant à une conduite d'une nature spéciale, fera comprendre notre pensée. De deux canards soufflants, l'un d'un petit diamètre, l'autre d'un grand diamètre, recevant chacun $1/2 m^3$ d'air par seconde, le premier livrera beaucoup moins d'air que le second; ses joints s'ouvriront d'avantage et pourront nécessiter des soins continuels, ou rester en très-mauvais état, ce qui nuirait même dans les moments où, n'ayant pas besoin d'un débit aussi considérable, il serait permis de ralentir la vitesse du courant.

démontrent cependant bien la nécessité des premières, et on peut assurer que si ces soins devenaient habituels, on verrait diminuer notablement le nombre des accidents dans les mines, sans augmentation, loin de là, du prix de revient.

L'observation des dépressions est très-facile si l'on a un manomètre en chacun des points préindiqués; le jaugeage des courants ne présente guère plus de difficulté et ne constituera pas une opération plus longue si l'on peut rendre pratique l'anémomètre représenté par la planche II, anémomètre d'une construction facile et peu coûteuse, dont personne ne peut revendiquer la propriété, et qui formera ci-après l'objet d'une description assez détaillée pour que rien ne puisse arrêter dans son exécution (1).

Les procédés de jaugeage fondés sur l'emploi de la poudre, des substances volatiles et odorantes, de l'anémomètre de M. Combes, de l'anémomètre Biram, etc., ou sur les lois de l'écoulement des gaz, lorsque l'on a pu observer la dépression, sont assez bien connus pour que nous n'ayons pas besoin de nous y arrêter.

Au point de vue où nous nous plaçons il est désirable d'avoir un anémomètre très-sensible, facile à appliquer, qu'il suffise d'exposer au courant pendant quelques secondes, puis d'en lire les indications, peu coûteux, et qu'on puisse, au besoin, laisser sans inconvénient dans l'intérieur de la mine. Celui que nous proposons, et dont l'idée première est due à M. Devillez, professeur à l'école des mines de Mons, paraît posséder la plupart de ces avantages; il n'offre guère d'autres inconvénients, que celui de lire difficilement le degré lorsque, la machine d'aérage étant très-irrégulière dans son mode d'action (cas aujourd'hui exceptionnel), ou qu'opérant dans des endroits où il y a des remous, le disque subit des oscillations très-nombreuses

(1) Les observations barométriques, thermométriques et hygrométriques ne sont pas inutiles non plus; mais on n'a besoin, en général, de les répéter qu'à de longs intervalles.

et variables dans leur amplitude, et celui de devoir s'assurer d'abord, dans un air en repos, du parfait aplomb du disque lorsqu'on a à mesurer, avec exactitude, des vitesses très-faibles. On pourrait du reste diminuer ces inconvénients en construisant, d'après les mêmes principes, des appareils plus grands que ceux que représente le dessin.

Le disque de ces appareils, en deux parties *a, a*, est implanté sur une tige creuse, au-dessous et aussi près que possible de l'axe de suspension, *b, b*, de cette tige qui se prolonge au-dessus de l'axe et se termine de ce côté par un contre poids. Une autre tige, pleine ou creuse, allégée en tout cas autant que possible, dont le bout supérieur, maintenu en place au moyen d'un petit ressort pressant contre les parois intérieures de la première, peut monter ou descendre dans celle-ci. A sa limite supérieure, elle équilibre parfaitement l'instrument dont le centre de gravité doit se trouver alors sur la ligne droite passant par les points de suspension, condition à laquelle il est difficile de satisfaire rigoureusement, soit par suite de défaut de construction, soit parce que l'appareil peut subir, pour diverses causes, de petites déformations, autrement qu'en plaçant sur l'axe une vis qui le traverse perpendiculairement et dont la tête *c*, puisse faire contrepoids. A supposer le centre de gravité trop en avant ou trop en arrière, on le ramènera facilement au point voulu en manœuvrant la vis dans un sens ou dans l'autre; quelle que soit alors la position donnée au disque il restera en équilibre.

Mais cet équilibre peut être dérangé par suite d'influences atmosphériques ou autres; il importe donc de pouvoir le rétablir si l'on doit opérer avec beaucoup de précision. Le meilleur moyen à employer pour arriver à ce résultat est d'avoir sur le disque un petit poids facile à déplacer au moyen d'une tige *d* glissant à frottement dans un fourreau.

Les choses ainsi réglées on écrit le zéro de l'échelle sur la tige intérieure à fleur de la base de la coulisse; les autres

divisions s'écriront, après calculs, sur la même tige, en remontant, de manière à pouvoir mesurer toutes les vitesses qu'on aura à observer, depuis les plus petites jusqu'aux plus grandes. Mais il peut arriver que pour celles-ci, et vu les limites d'inclinaison du disque entre lesquelles il convient de se tenir, la tige intérieure soit, ou peu longue, ou d'un trop faible poids; c'est pourquoi on perce, à l'extrémité inférieure de la tige, un trou où l'on puisse loger, au besoin, un petit poids.

Soit q le poids de la tige intérieure; si, partant de la position d'équilibre on la fait glisser de haut en bas d'une quantité y, le disque viendra occuper une position verticale, et on aura créé une résistance à son déplacement dont le moment sera qy pour la position horizontale du système. En donnant à y des valeurs successivement doubles, triples, on augmentera ce moment dans le même rapport. Placé dans un courant, perpendiculairement à ce courant, le disque s'inclinera de l'angle x sur la verticale, angle qui sera d'autant plus grand que y sera plus petit, et, placé dans divers courants, cette même inclinaison sera d'autant plus forte, pour une valeur donnée de y, que la vitesse du courant sera plus considérable; tel est le principe de l'appareil.

La suspension se fait (fig. 4 et 5, pl. II), à un bras horizontal d'un support s'élevant au moyen d'un montant vertical à la hauteur de ce bras, et les valeurs de x se lisent sur une échelle qui se ferme (fig. 4), dans le plan vertical du disque, ou s'ouvre (fig. 5), jusque dans un autre plan vertical perpendiculaire au premier à la manière d'un battant de porte tournant autour de ses gonds; ou bien (fig. 6 et 7), elle se fait dans un cadre de manière à affleurer à peu près les bords extérieurs de ce cadre, l'inclinaison se lisant alors sur une échelle qui se replie (fig. 6), dans l'intérieur du cadre, comme une lame de canif dans l'intérieur du manche, et s'ouvre (fig. 7), jusqu'à une autre position extrême marquée par un arrêt : c'est, pour chaque dispo-

sitif, dans la seconde position qu'il faut placer l'échelle pour lire les indications.

Le dessin indique suffisamment comment se construit l'échelle ; le zéro doit correspondre à la position verticale que prend le disque dans un air en repos ; le n° 1 à un angle de 11° 1/4, le n° 2 à 22° 1/2, etc. ; le n° 0 et le n° 4 sont marqués par des traits plus gros afin d'être moins exposé à se tromper en lisant l'inclinaison.

Le support doit faire fil à plomb ; on le construit donc de manière à être influencé le moins possible par le courant, en amincissant les tranches exposées à son action et en lui donnant assez de poids avec le soin de concentrer la masse vers le bas ; pour expérimenter on le tient suspendu (fig. 4 et 5) dans un plan perpendiculaire au fil du courant de manière que l'axe de l'anneau soit à peu près horizontal ; l'anneau, poignée ou anse, a une courbure telle que le point de suspension se trouve sur la verticale passant par le centre de gravité de l'appareil, ou s'en écarte peu, de sorte que celui-ci forme véritablement fil à plomb ; le mode indiqué par les fig. 6 et 7 ne diffère du précédent qu'en ce que l'axe de l'anse doit être placé dans un plan parallèle au courant.

Les appendices *f* des disques ont pour but de rendre la lecture des angles plus facile.

La partie agissante de ces appareils doit être faite la plus légère possible ; ici les disques sont de minces plaques d'acajou polies et vernissées, renforcées par un encadrement en papier collé sur les bords ; à part la vis appliquée sur l'axe, les extrémités de celui-ci, la partie massive du contrepoids, et le poids curseur *d*, le reste est aussi en bois ; nul doute qu'un bon constructeur ne puisse rendre cette partie plus solide et moins hygrométrique sans nuire à sa légèreté.

Les supports sont de préférence en métal ; ici l'un est en cuivre, l'autre en bois, celui-ci avec lest.

On remarquera que l'anémomètre représenté par les figures 6 et 7 est beaucoup plus portatif que l'autre, non-seulement parce qu'il est plus petit, mais encore parce que le support forme en quelque sorte boîte : pour le transport l'anneau de suspension se rabat en *cc* et embrasse alors la tête de la tige sur laquelle est implanté le disque; en même temps on descend l'autre tige jusqu'à amener son extrémité inférieure dans un creux ou petite poche ménagée dans la base du support.

Théorie de ces appareils (1).

Nous aurons principalement en vue, en rappelant cette théorie, l'utilité dont elle peut être pour la construction des appareils.

Le choc d'un courant sur une surface plane qu'il rencontre normalement exerce contre cette surface une pression qui, estimée en centigrammes, est représentée par $69{,}41\ p s^{1,1} V^2$, s, étant la surface choquée, en décimètres carrés, p la densité de l'air par rapport à celle de l'eau, et V la vitesse du courant en mètres.

Mais le courant, supposé horizontal, rencontre le disque de l'anémomètre sous un angle égal à $90° - x$, x étant l'angle décrit par le disque pour arriver à sa position d'équilibre.

Soient Q le poids de l'anémomètre, r la distance de son centre de gravité à l'axe de suspension, et R la distance du centre de figure du disque au même axe. L'action d'un courant sur une surface qu'il rencontre obliquement n'est pas bien connue; mais, adoptant parmi les formules proposées pour la représenter, celle qui s'accorde le mieux avec les résultats des expériences que nous avons faites pour la graduation de l'appareil, et à laquelle on arrive en admettant que l'effort exercé sur la surface et estimé perpendiculairement au plan choqué, est égal à celui qui serait

(1) Voir pour plus de détails notre notice prérappelée sur *l'utilité du jaugeage des courants d'air dans les mines*.

produit par le choc normal réduit proportionnellement au sinus de l'inclinaison du courant sur ce plan, on aura :

$$69{,}41\ ps^{1,1}\ V^2 R \cos x = Q\, r \sin x$$

$$\text{d'où } V^2 = 0{,}01441\ \frac{1}{p}\frac{1}{s^{1,1}}\ Q\ \frac{r}{R}\ tgx \qquad (a)$$

et à cause de $Q\, r = q\, y$:

$$V^2 = 0{,}01441\ \frac{1}{p}\frac{1}{s^{1,1}}\ q\ \frac{y}{R}\ tgx \qquad (b)$$

Calcul de $s^{1,1}$.

Le courant n'agit pas seulement sur le disque, mais aussi sur les parties de la monture situées au dehors de sa surface ; d'où la nécessité de faire quelques calculs pour avoir la valeur exacte de $Rs^{1,1}$ ou plutôt de $s^{1,1}$, en admettant qu'on ne change rien à la valeur de R qui restera égale à la distance du centre de figure du disque à l'axe de suspension.

Soient a la surface, en décimètres carrés d'une portion quelconque de la monture non comprise dans la surface du disque, et d la distance de son centre de figure à l'axe de suspension, d étant positif ou négatif suivant que a se trouve au-dessous ou au-dessus de cet axe. Embrassant sous le signe Σ tous les termes dus à ces parties extérieures, et appelant A la surface totale du disque, on aura :

$$s^{1,1} = A^{1,1} + \Sigma\ \frac{a^{1,1} d}{R}.$$

Le tableau suivant des valeurs de $s^{1,1}$ correspondant à un certain nombre de valeurs de s, permettra de faire les calculs qui seront ordinairement nécessaires sans avoir besoin de recourir aux tables de logarithmes :

$s =$ 1 — 0,01 — 0,05 — 0,10 — 0,20 — 0,40 — 0,80 — 0,90 ;

$s'_{,}{}' = 1 - 0{,}0063 - 0{,}037 - 0{,}08 - 0{,}17 - 0{,}37 - 0{,}78 - 0{,}89$;

$s = 1{,}1 - 1{,}3 - 1{,}5 - 1{,}6 - 1{,}7 - 1{,}8 - 1{,}9 - 2{,}00$;

$s'_{,}{}' = 1{,}11 - 1{,}33 - 1{,}56 - 1{,}68 - 1{,}79 - 1{,}91 - 2{,}05 - 2{,}15$.

Valeur de p. On supposera $p = 1{,}2$, sauf à corriger le résultat si l'on avait à opérer dans des conditions très-différentes en le multipliant par $\sqrt{\frac{1{,}2}{p}}$.

Application de la formule à trois anémomètres A, B, C, construits d'après ces principes, et dont 2, A et C sont représentés par le dessin.

Les données suivantes, nécessaires ou utiles, ont été relevées sur les instruments après construction :

	A	*B*	*C*
Valeurs de $S'_{,}{}'$	1,38	0,67	0,52
Valeurs de R (en millimètres)	55,5	45	34
Valeurs de $Q - q$ (en centigrammes)	2400	1967	1462
Hauteur, δ, du centre de gravité de $Q - q$ au-dessus de l'axe (en millimètres)	4 1/2	4 1/2	6 1/2
Valeurs de q (en centigrammes)	160	153	153
Distance, a, du centre de gravité de la tige de poids q, à son extrémité inférieure (en millimètres)	72	70	71
Distance, D, de cette extrémité à l'axe après établissement de l'équilibre (en millimètres).	132	130	131

On doit avoir $(Q - q)\,\delta = q\,(D - a)$, ce qui donne le moyen de vérifier l'exactitude de certaines de ces données.

Les formules (a) et (b) donnent en y substituant les valeurs ainsi obtenues de p, $s'_{,}{}'$, q et R :

Pour l'anémomètre *A* :

$$V^2 = 0{,}000157\, Qr\, tgx = 0{,}000157\, py\, tgx = 0{,}02512\, y\, tgx;$$

Pour l'anémomètre B :

$$V^2 = 0,0004\ Qr\ tgx = 0,0004\ py\ tgx = 0,0612\ y\ tgx\ ;$$

Pour l'anémomètre C :

$$V^2 = 0,00068\ Qr\ tgx = 0,00068\ py\ tgx = 0,104\ y\ tgx.$$

Si l'on veut que les trois disques accusent les mêmes vitesses par les mêmes inclinaisons, on aura, en appelant y_1, y_2, y_3 les valeurs respectives de y qui satisfont à cette condition :

$$y_1 = y\ ;\ y_2 = 0,41\ y_1\ ;\ y_3 = 0,24\ y_1\ ;$$

Soient :

I. $y_1 = 20^{mm}$, d'où $y_2 = 8^{mm},2$ et $y_3 = 4^{mm},80$; on aura :

$$V_I = 0,71\ \sqrt{tgx},$$

r étant en général égal à $\frac{py}{q}$, soit $\frac{p_1y_1}{Q_1}$ pour le 1er appareil, $\frac{p_2y_2}{Q_2}$ pour le 2e et $\frac{p_3y_3}{Q_3}$ pour le 3e, comme $p_1y_1 = 3,200$, $p_2y_2 = 1,312$, $p_3y_3 = 734$, tandis que $Q_1 = 2,560$, $Q_2 = 2,112$ et $Q_3 = 1,615$, on aura :

$$r_1 = 1^{mm},24,\ r_2 = 0^{mm},62 \text{ et } r_3 = 0^{mm},44,$$

II. $y_1 = 40^{mm}$, d'où $y_2 = 16^{mm},40$ et $y_3 = 9^{mm},60$:

$$V_{II} = \sqrt{tgx} = V_1\sqrt{2}.$$

III. $y_1 = 80^{mm}$, d'où $y_2 = 32^{mm},8$, $y_3 = 19^{mm},2$:

$$V_{III} = 1,41\ \sqrt{tgx} = 2\ V_1.$$

IV. $y^1 = 160^{mm}$, d'où y_2 $65^{mm},60$ et $y_3 = 38^{mm},4$:

$$V_{IV} = 2\sqrt{tgx} = V_1\sqrt{8}.$$

La formule à employer serait tout aussi facile à obtenir si l'on chargeait la tige d'un certain poids, au lieu de l'éloigner d'avantage de l'axe, afin d'accroître le moment

résistant. Si, par exemple, la tige de l'anémomètre *A* étant dans la position *III*, on la charge d'un poids q' à la distance y' de l'axe, on aura :

$V_2 = 0{,}000157\,(q_1y_1 + q'y')$, et, pour $q' = 100$ centigrammes $y' = 132$ millimètres :

$V^2 = 4{,}08 + gx$, d'où $V = 2{,}02\sqrt{tgx}$.

La formule applicable à ces instruments est donc théoriquement $V = A\sqrt{tgx}$, *A* ayant une valeur que l'on peut toujours calculer pour un appareil donné. Pour les graduer expérimentalement on a posé $V = AK$, *A* ayant la même valeur que ci-dessus; après avoir observé la vitesse de l'appareil qui servait à la graduation, ainsi que l'inclinaison du disque, il était facile d'en déduire la valeur de *K*; les résultats obtenus, dont il n'est cependant pas possible d'assurer la parfaite exactitude, parce qu'il n'était pas toujours facile de lire l'inclinaison, concordent assez bien avec les résultats théoriques, du moins pour la première moitié de l'échelle, ainsi que le montre le tableau suivant des valeurs de $\sqrt{tgx}$ et de *K* :

	VALEURS DE $\sqrt{tgx}$.	VALEURS DE *K*.
$X = 11°\,1/4$ ou n° 1 de l'échelle	0,425	0,42
$X = 22°\,1/2$ — n° 2 —	0,64	0,66
$X = 33°\,3/4$ — n° 3 —	0,82	0,87
$X = 45°$ — n° 4 —	1,00	1,05
$X = 56°\,1/4$ — n° 5 —	1,22	1,27
$X = 67°\,1/2$ — n° 6 —	1,55	1,70 ?
$X = 78°\,3/4$ — n° 7 —	2,00	?
$X = 90°$ — n° 8 —	∞	—

Dans les applications, il conviendra de régler la résistance de manière que l'inclinaison du disque soit renfermée entre les n°s 1 et 5.

Observations sur les valeurs de r.

Entre deux dispositions qui permettent d'arriver avec les mêmes dimensions de disques à deux moments résistants égaux, l'une en augmentant la masse de l'appareil, l'autre en la diminuant, le choix ne peut être douteux; c'est évidemment à celle-ci qu'il faut accorder la préférence. Non-seulement on arrive ainsi à augmenter la sensibilité de l'appareil, mais on diminue encore le nombre et l'amplitude des oscillations; celles-ci s'étendront d'autant moins dans un sens ou dans l'autre que la force d'inertie de l'appareil sera plus grande; or l'intensité de cette force ne dépend pas seulement du poids, mais aussi de la position du centre de gravité du système oscillant; elle est proportionnelle à la masse de ce dernier et au carré de la vitesse que tendent à lui imprimer les variations du courant d'air.

Soient M' et M'' les masses de deux appareils dont les poids sont Q' et Q'' et les moments résistants $Q' r' = Q'' r''$; si $Q' = 2\ Q''$ ou $M' = 2\ M''$ on a, dans le cas de $Q' r' = Q'' r''$, $r'' = 2\ r'$; d'où $M'' r''^2 = 2\ M' r'^2$. L'avantage est donc, sous ce rapport comme sous plusieurs autres, tout en faveur de la deuxième disposition.

28 octobre 1869.

NOTES ADDITIONNELLES AU MÉMOIRE QUI PRÉCÈDE.

I. — Les accidents occasionnés par l'insuffisance de l'aérage des travaux préparatoires (*Voir page* 7) sont surtout fréquents dans les montages, et c'est avec raison que l'on recommande de faire les communications en veine autant que possible en descendant.

Lorsque force est de recourir à l'emploi de petits ventilateurs mus à bras, on éprouve souvent le besoin de renforcer l'action par l'établissement d'un second et même d'un troisième appareil. La vitesse que l'on peut imprimer à ces organes ne pouvant dépasser une limite assez res-

treinte, même en augmentant le nombre de bras, on doit alors, pour que leurs effets s'additionnent, les faire agir à la suite les uns des autres; s'ils puisaient dans le même milieu, le but ne serait pas atteint, à moins qu'on ne multipliât en même temps le nombre des conduites, ou qu'on ne les remplaçât par d'autres d'un plus grand diamètre, ce qui serait un autre mode de solution du problème, mode efficace par lui-même si les conditions générales de la circulation sont bonnes, et qui dispense par conséquent de l'emploi coûteux des auxiliaires en question. Rappelons aussi qu'au sortir des ateliers dont il s'agit ici, l'air susceptible de se charger de grisou ne doit pas passer sur d'autres chantiers et qu'il doit pouvoir s'écouler aussi facilement et aussi librement que possible vers le puits d'appel.

II. — Ce qui est dit à la page 22, du circuit qui déterminerait le régime de la mine, n'est pas tout à fait exact. C'est plutôt le circuit b_1 b_1 qui réglerait la dépression à l'envoyage, *celle-ci devant dépasser de* 9^{mm},70 *la hauteur nécessaire pour faire circuler le volume de* 11 *mètres cubes dans les portions* Ab *de la bacnure de roulage et* $\beta\alpha$ *de celle d'aérage, et celui de* 13^{m3},50 *dans la voie* $\alpha\alpha'$, *puis dans la bacnure* $\alpha'\alpha''$. Par suite, la dépression à l'envoyage serait d'environ 12^{mm},70 dans les conditions primitivement posées, *et l'on peut admettre qu'elle se transmettrait à peu près intégralement jusqu'en a, b et c*. Après la nouvelle répartition du courant indiquée page 23, *la partie de la dépression nécessaire, aux points b et c*, pour vaincre les résistances dans les chantiers b_1 b_1, b_2 b_2, c_2 c_2 est encore, du reste, égale à 7^{mm},48, et la nouvelle dépression à l'envoyage, à 10^{mm},48. C'est cette dernière valeur, à très peu de chose près, que l'on peut supposer à *h, aussi bien en b, b'' et c, qu'en a*, pour le calcul des ouvertures des guichets, page 25 et 26.

C. H.

RECHERCHES

SUR

le diamètre minimum à donner

AUX

SOUPAPES DE SURETÉ DES CHAUDIÈRES A VAPEUR;

PAR

M. E.-J.-Léon THONARD,
INGÉNIEUR DES MINES,
MEMBRE DE LA COMMISSION CONSULTATIVE DES MACHINES A VAPEUR.

A mesure que les découvertes nouvelles faites par la science permettent d'apporter une plus grande exactitude dans l'appréciation de certains éléments et l'étude des phénomènes physiques qui les accompagnent, il semble naturel et nécessaire de remplacer les formules usitées en pratique et basées sur des faits non confirmés par l'expérience, par d'autres, dans lesquelles les suppositions font place à des données provenant d'observations rigoureuses ou fournies par le calcul.

Les résultats auxquels on est conduit par une semblable transformation, quand bien même ils modifieraient, seulement dans certaines limites, les chiffres qu'on était convenu d'adopter jusqu'alors, n'en auraient pas moins des conséquences fort utiles. Dans cette circonstance, n'eussent-ils déjà pour avantages que de rassurer les constructeurs

sur la valeur des règles usitées, d'en signaler au besoin les anomalies et d'écarter de la discussion, à laquelle leur origine les laissait soumises précédemment, toute autre hypothèse plus au moins fondée, que leur recherche paraîtrait encore suffisamment motivée. Elle le serait naturellement d'autant plus, s'il venait à se manifester une divergence dans les conclusions.

Mais, à côté de cela et dans tous les cas, un autre mérite se dégage dont l'importance ne me paraît pas devoir être douteuse. C'est que, dans les recherches de l'espèce, en restreignant le champ des suppositions à la limite du possible, on arrive à se rendre un compte plus exact de ce qui se passe réellement, à avoir une notion, plus approchée de la vérité, du jeu des organes dont elles avaient pour objet de fixer les dimensions.

Telle est l'idée qui a guidé la marche de ce travail.

Comme on le verra, j'y fais usage pour la détermination du diamètre minimum à donner aux soupapes de sûreté des chaudières à vapeur, des formules données par la théorie mécanique de la chaleur pour l'écoulement de la vapeur à l'air libre et par lesquelles il conviendrait de remplacer celles dont on a déduit les résultats insérés généralement dans les aide-mémoires et carnets d'ingénieurs. Elles sont empreintes d'une exactitude que ne possèdent pas ces dernières, dont on s'est servi autrefois, lors de la recherche de la formule réglementaire. Des exemples le prouveront d'ailleurs à suffisance.

Outre ce côté théorique, la question comportait, pour son élucidation, sinon complète, du moins satisfaisante pour la pratique, l'évaluation de certains éléments.

En ce qui concerne deux d'entre eux, j'ai entrepris quelques expériences, analogues à celles déjà faites en Angleterre par M. Baldwyn d'une façon un peu différente mais avec la même intention, pour rechercher la valeur du coefficient de contraction et la surélévation de pression

qui a lieu dans une chaudière à vapeur, lors du fonctionnement de la soupape, à mesure que le disque se soulève au-dessus de son siége. Ces expériences, bien qu'insuffisantes à certains égards, m'ont permis cependant d'atteindre le but que je me proposais. Les résultats, que j'en ai obtenus, m'ont autorisé à conserver, pour le rapport de la dépense pratique à la dépense théorique, le chiffre de 0,7 et à prendre, dans la mesure de la surface d'écoulement à fournir par la soupape, une levée maxima de celle-ci égale au quart de son diamètre.

J'ai cru utile de donner, sur la manière dont j'ai opéré et les faits intéressants observés, quelques détails dont les ingénieurs, désireux de pousser plus loin cette étude, pourront peut-être faire leur profit.

Quant aux hypothèses à admettre en tout état de choses, l'examen et la comparaison des chiffres de vaporisation ainsi que les difficultés et, j'ajouterai même, les inconvénients que présente l'application de la formule réglementaire à certaines catégories de générateurs, m'ont fait préférer une autre base que la surface de chauffe. Cette dernière à été conservée toutefois, mais en en diminuant l'importance, pour les chaudières chauffées par les flammes perdues des fours. Pour celles qui sont chauffées par des foyers, j'ai adopté la surface de grille avec une puissance de vaporisation en rapport avec le mode de tirage, naturel ou forcé. C'est ainsi du reste que les constructeurs procèdent en Angleterre et aux États-Unis.

Malgré ces modifications, les changements apportés par les formules dont je propose l'emploi, ne sont pas en général aussi profonds qu'on pourrait le croire. Mais les résultats qu'elles fournissent se prêtent davantage aux exigences de la pratique industrielle, ainsi qu'on peut s'en assurer en examinant le tableau comparatif, page 86.

Il m'a paru d'autant plus opportun de les faire connaître que le Gouvernement se préoccupe, à bon droit, des modifica-

tions à introduire dans le règlement du 21 avril 1864 sur les machines et chaudières à vapeur, modifications rendues nécessaires par l'usage des appareils de l'espèce et les innovations dont ils ont été l'objet dans ces derniers temps.

Je dois à M. E. Bède, ancien professeur de physique à l'université de Liége, et à M. Kraft, ingénieur de la Société Cockerill, d'utiles informations et de bienveillants conseils, pour lesquels j'ai à leur exprimer ici mes vifs remercîments.

Je remercie également M. Sadoine, directeur-général de la Société Cockerill, de la façon obligeante avec laquelle il a bien voulu mettre à ma disposition, dans l'établissement qu'il dirige, ce qui pouvait m'être nécessaire ou utile pour ces recherches, et M. D. Thiry, inspecteur du service des chaudières de la même Société, du concours intelligent et précieux qu'il m'a prêté dans les expériences dont il sera question plus loin.

I

On sait comment on est arrivé à la formule réglementaire actuelle qui fixe le diamètre minimum à donner aux soupapes de sûreté des générateurs de vapeur. La marche suivie et les éléments qui ont servi de base à cette recherche sont indiqués dans le *Traité de la chaleur* de M. Péclet par leur application à des exemples numériques et la compararaison des résultats obtenus avec ceux de l'ancienne formule. Il paraîtra utile, je pense, de les rappeler en procédant d'une manière plus générale.

Soient :

s, la surface que la soupape doit offrir théoriquement à l'écoulement de la vapeur ;

v, la vitesse avec laquelle la vapeur s'écoule ;

Δ, le poids du mètre cube de vapeur;
S, la surface de chauffe de la chaudière, exprimée en mètres carrés;
Q, la quantité de vapeur produite par heure et par mètre carré de S;
et n, la tension maximum que peut atteindre la vapeur dans la chaudière.

On aura :

$$s\,v\,\Delta = \frac{Q\,S}{3600} \quad (1)$$

d'où l'on peut déduire s, quand on connait v, Δ, Q et S.

Pour déterminer v, on prend la formule $v = \sqrt{2\,g\,h}$, donnée pour l'écoulement des liquides, en ayant soin d'exprimer h en colonne de fluide qui s'écoule.

$$h = \frac{(n-1)\,10^{m},33 \times 1000}{\Delta}$$

$$\text{D'où, } v = \sqrt{\frac{2g\,(n-1)\,10^{m},33 \times 1000}{\Delta}}$$

Par substitution, l'équation (1) devient :

$$s\sqrt{19,62 \times 10330}\;\sqrt{(n-1)\,\Delta} = \frac{Q\,S}{3600} \quad (2)$$

Le poids du mètre cube de vapeur est à peu près égal aux 5/8 ou aux 0,622 du poids du même volume d'air à la même température et à la même pression (Voir Péclet, t. I, p. 23, et l'ouvrage de MM. Morin et Tresca sur les *Machines à vapeur*, p. 69). Cela n'est pas d'une exactitude rigoureuse, mais très-suffisant pour l'objet en question. On peut s'en convaincre en examinant la figure 1 de la planche III, dans laquelle la courbe u' représente les volumes exacts de 1 kil. de vapeur à diverses tensions et la

courbe u, les volumes du même poids de vapeur déterminés comme il vient d'être indiqué. Les densités ainsi calculées sont un peu plus faibles que les densités réelles, mais les différences sont négligeables.

$$\Delta = \frac{0{,}622 \times 1^k{,}29318\, n}{1 + 0{,}00367\, T}$$

T, étant la température, exprimée en degrés centigrades, correspondant à la tension n.

L'équation (2) devient alors :

$$s \sqrt{19{,}62 \times 10330}\, \sqrt{(n-1)} \sqrt{0{,}622\, \frac{1{,}29318\, n}{1 + 0{,}00367\, T}} = \frac{Q\, S}{3600}$$

$$\text{d'où } s = \frac{\sqrt{1 + 0{,}00367\, T}}{403{,}8} \sqrt{\frac{1}{(n-1)\, n}}\; \frac{Q\, S}{3600} \quad (3)$$

Pour des tensions de 1 à 16 atmosphères, ou, en d'autres termes, pour des températures de 100 à 200°, le terme $\sqrt{1 + 0{,}00367\, T}$ varie seulement entre les limites de 1,17 à 1,49. On peut donc, sans grande erreur, le prendre égal à 1,3 pour les pressions en usage dans la pratique industrielle. L'équation (3) devient :

$$s = \frac{1{,}3}{403{,}8} \sqrt{\frac{1}{(n-1)\, n}}\; \frac{Q\, S}{3600} \quad (4)$$

s est exprimé en mètre carré; pour l'avoir en centimètres carrés, il faut multiplier par 10,000 le second membre de l'équation (4) ; alors :

$$s = 32{,}2 \sqrt{\frac{1}{(n-1)\, n}}\; \frac{Q\, S}{3600} \quad (5)$$

On a admis, par mesure de sécurité, pour la vaporisation par mètre carré de surface de chauffe, le chiffre énorme de 100^k, que peut seule donner la tôle plongée dans le feu. Dans ce cas :

$$s = 32,2 \times 0,02778 \sqrt{\frac{1}{(n-1)\,n}} \,.\, S. \quad (6)$$

On peut poser $\sqrt{(n-1)\,n} = n + A$.

En calculant depuis $n = 2$ jusqu'à $n = 10$, on trouve que la valeur de A, qui est négative, varie peu : depuis 0,59 jusqu'à 0,51. Il est donc permis de prendre :

$$\sqrt{(n-1)\,n} = n - 0,530$$

L'équation (6) devient alors :

$$s = 0,894516 \frac{1}{n - 0,530} S. \quad (7)$$

La dépense pratique diffère de la dépense théorique. Pour tenir compte des étranglements, des frottements, on admet que la surface offerte à l'écoulement doit être 1,4 la surface théorique. Ce qui suppose la relation suivante :

Dépense pratique = 0,7 dépense théorique.

Il en résulte :

$$s_1 = 1,4\, s = 1,25 \frac{1}{n - 0,530} S. \quad (8)$$

Mais la surface offerte à l'écoulement n'est pas celle de la soupape ; elle a pour mesure la circonférence de cette dernière multipliée par la hauteur dont le disque s'est élevé au dessus de son siége. En exprimant la levée par une fraction $\frac{1}{c}$ du diamètre, on a :

$$\pi D \times \frac{D}{c} = 1{,}25 \frac{1}{n - 0{,}530} S$$

Si l'on admet que cette levée puisse atteindre aisément le quart du diamètre, $c = 4$, on aura :

$$\pi D \times \frac{D}{4} = 1{,}25 \frac{1}{n - 0{,}530} S$$

d'où l'on déduit :

$$D = 1{,}3 \sqrt{\frac{S}{n - 0{,}530}}$$

La formule $D = 1{,}3 \sqrt{\frac{S}{n - 0{,}412}}$ mentionnée dans l'ancienne ordonnance française de 1823, rappelée par Péclet et autorisée chez nous par le règlement belge du 5 avril 1839 pour les soupapes qui, étant ouvertes, *laissent l'orifice de sortie parfaitement libre,* (ce qui n'était pas nécessaire), se rapproche beaucoup de celle que nous venons de trouver. Elle en diffère par la valeur du dénominateur sous le radical et d'une faible quantité seulement.

Dans le but, probablement, de diminuer la levée et de favoriser l'écoulement de la vapeur, on aura été amené à doubler le diamètre et c'est ainsi qu'on a obtenu la formule réglementaire actuelle :

$$D = 2{,}6 \sqrt{\frac{S}{n - 0{,}412}} \cdot$$

La levée nécessaire est en effet réduite de moitié et il suffit qu'elle soit égale à 1/16 du diamètre nouveau ou à 1/8 du diamètre ancien, pour que la soupape offre à l'écoulement une surface $s_1 = 1{,}4\ s$.

II

Dans la détermination qui précède, on voit aisément que, parmi les éléments qui lui ont servi de base, deux sont erronés : l'expression de la vitesse d'écoulement de la vapeur et la densité de cette dernière dans le plan d'écoulement.

En effet, en prenant pour la vitesse, celle que donne la formule de l'écoulement des liquides et, pour la densité, celle de la vapeur à l'intérieur de la chaudière, on est sensé supposer que l'écoulement de la vapeur, du générateur à l'air libre, se fait à pleine pression. Or il ne peut en être ainsi. La vapeur, en s'écoulant, se détend dans le plan d'évacuation jusqu'à ce que sa tension se soit abaissée à celle du milieu dans lequel elle se répand.

Il importe donc de tenir compte de ce phénomène dans l'évaluation de la vitesse de sortie. M. Th. Baldwyn, dans un travail sur la même question publié par le *Mechanics' Magazine* du 15 février 1867, prend, à cet effet, la formule donnée pour l'écoulement des gaz comprimés d'un réservoir dans un milieu à une pression moindre :

$v = \sqrt{2\, g\, p_1\, v_1\, log.\, nep.\, \frac{p_1}{p_2}}$. Cette formule, pas plus que la précédente, ne peut donner des résultats satisfaisants. La théorie mécanique de la chaleur permet d'apporter toute l'exactitude possible dans cette détermination, de même que dans celle du volume relatif ou de la densité de la vapeur qui s'écoule.

A l'égard de ce dernier élément, il faut remarquer que, lorsque de la vapeur saturée et sèche se détend, une partie se précipite à l'état d'eau. Cette quantité est d'autant plus grande que la pression primitive est plus élevée, de sorte que la densité finale varie avec la tension, dans des limites toutefois peu écartées.

On trouve, dans l'*Exposé des principes de la Théorie mécanique de la chaleur* de M. Ch. Combes (page 192), la formule suivante pour l'expression de la vitesse avec laquelle la vapeur circule d'un milieu où elle est à la pression correspondant à la température $t_1°$ dans un milieu à pression correspondant à la température $t_2°$;

$$\frac{w^2}{2g} = \frac{1}{A} m_1 r_1 \frac{t_1 - t_2}{a + t_1}$$

équation qui donne la demi-force vive d'un kilogramme de *vapeur aqueuse* dans le plan d'écoulement.

w, est la vitesse de sortie;

A, l'équivalent calorifique du travail $= \frac{1}{424}$;

m_1, le poids de vapeur contenu dans 1k du mélange, $(1 - m_1)$, le poids d'eau;

r_1, la chaleur de vaporisation ou la quantité de chaleur nécessaire pour transformer 1k d'eau à $t_1°$ en vapeur saturée à $t_1°$ et à la pression correspondante p_1; $r_1 = 606{,}5 + 0{,}305\ t_1 - t_1$ (Regnault);

t_2, la température de la vapeur saturée correspondant à la pression p_2 qui est celle du milieu dans lequel la vapeur s'écoule. Si la vapeur se répand à l'air extérieur sous une pression barométrique de 760mm de mercure, $t_2 = 100°$; $a = \frac{1}{\alpha} = 273$; α, étant le coefficient de dilatation des gaz et $\dot{-}$ 273, le zéro absolu; $a + t_1$ sera la température absolue de la vapeur.

Cette formule s'obtient en supposant la vapeur aqueuse contenue dans un réservoir indéfini; un piston, par exemple, qui se meut à mesure de l'écoulement maintient la pression. Le milieu extérieur est également supposé à pression invariable.

La vapeur, en s'écoulant, se détend. Pendant la détente,

une certaine quantité d'eau se précipite et le poids de vapeur final est donné par la formule :

$$m_2 = \frac{a+t_2}{r_2} \times \frac{1}{a+t_1} \Big\{ m_1 r_1 + 1{,}02 (t_1 - t_2) \Big\}$$

obtenue en égalant à 0 la différentielle de la chaleur totale contenue dans 1[k] de vapeur aqueuse : $d\,Q = cdt + d\,(mr) - \frac{m\,r\,dt}{a+t}$.

r_2 est la chaleur de vaporisation à t_2°, $r_2 = 606{,}5 + 0{,}305\ t_2 - t_2$.

m_2, le poids de vapeur après la détente.

Les autres lettres ont les mêmes valeurs que plus haut.

On peut appliquer, je pense, ces formules à l'écoulement de la vapeur par les soupapes de sûreté des chaudières à vapeur. On n'a pas, il est vrai, un réservoir indéfini, mais le foyer reproduira de la vapeur pour suppléer à celle qui s'écoule. Le milieu extérieur est à la pression atmosphérique correspondant pour la vapeur, à la température de 100°.

La vapeur est rarement saturée et sèche quand elle sort des générateurs ; elle emporte avec elle une certaine quantité d'eau plus ou moins variable selon les circonstances et difficile à préciser. En admettant qu'elle n'entraîne pas la moindre quantité d'eau, cette hypothèse ne tend qu'à augmenter l'ouverture à donner aux soupapes de sûreté.

Dans ces circonstances, et en faisant subir aux notations quelques modifications faciles à saisir, les formules ci-dessus se simplifient beaucoup ; $m_1 = 1$, $t_2 = 100$:

$$\frac{w^2}{2\,g} = 424\ r\,\frac{t - 100}{273 + t} \quad (I)$$

$$m_2 = \frac{273 + 100}{606{,}5 + 0{,}305 \times 100 - 100}\ \frac{1}{273+t} \Big\{ r + 1{,}02\,(t - 100) \Big\}$$

La dernière peut encore se simplifier, en prenant, pour le coefficient de dilatation de l'eau au-dessus de 100°, 1 au lieu de 1,02,

$$m_2 = \frac{373}{537} \frac{1}{273 + t} (506,5 + 0,305\ t) \quad (II)$$

Le volume 1 kil. de vapeur à 100° est = $1^{m^3},646$; le volume final du mélange vapeur et eau précipitée (1) après la détente sera donc :

$$V = m_2 \times 1^{m^3},646 + (1 - m_2)\ 0^{m^3},001$$

Le second terme est négligeable, ainsi qu'on peut s'en assurer en consultant le tableau de la page 62, 4e colonne. Nous prendrons donc seulement :

$$V = m_2 \times 1,646 = 0,695 \frac{1,646}{273 + t} (506,5 + 0,305\,t) \,(III)$$

Comparons maintenant les résultats fournis par la formule (*I*) avec ceux que donnent les deux formules précédemment indiquées, à savoir : $v = \sqrt{2gh}$, qui a servi à la détermination des diamètres réglementaires et $v' = \sqrt{2g\ p_n\ v_n\ log.\ nep.\ n}$ conseillée et adoptée par M. Th. Baldwyn. On a le tableau suivant (2) :

(1) Cette eau précipitée se vaporise à une petite distance du point de sortie par suite de la création de chaleur amenée par l'extinction graduelle de la force vive de la vapeur humide qui s'écoule, lorsque celle-ci a franchi l'orifice et pénétré dans l'atmosphère.

(2) Il est bon de remarquer que, d'après le réglement, le diamètre étant pris constant à partir de 6 atm., la comparaison entre les valeurs au-delà de cette tension n'a été faite que pour l'intérêt qu'elle peut présenter.

TEMPÉRATURES de LA VAPEUR (1).	TENSIONS de LA VAPEUR.	VITESSES DÉDUITES DE $\frac{w^2}{2g} = 424\, r \frac{t-100}{273+t}$	VITESSES DÉDUITES DE $v = \sqrt{2gh}$ (2)	RAPPORTS de $\frac{v}{w} =$	VITESSES DÉDUITES de $v' = \sqrt{2\, g\, p^n\, V^n\, log.\, nep.\, n.}$
Degrés centigr^des^.	Atmosphères.	Mètres.	Mètres.		Mètres.
120,6	2	477	426	0,890	502
133,91	3	596	500	0,840	642,5
144	4	666	538	0,810	730,6
152,22	5	715	560	0,780	794,5
159,22	6	750	576	0,768	845
165,34	7	779	589	0,756	889
170,81	8	803	600	0,747	923,6
175,77	9	823	607	0,737	954
180,31	10	840	614	0,730	983
184,5	11	855	620	0,725	1008
195,53	14	892	634	0,710	1067

(1) Calculées sur la table des forces élastiques de la vapeur d'eau de — 32° à + 230°, dressée par Regnault, dans la *Relation des expériences sur les lois physiques de la vapeur*, 1re partie, p. 624.

(2) L'Aide-Mémoire de Péclet et Armengaud jeune donne à peu près les mêmes chiffres que ceux de cette colonne. Il en est de même du *Carnet de l'Ingénieur* publié par Lacroix et cela pour l'écoulement de la vapeur dans l'air.

Dans la fig. 1 de la planche III, on voit la traduction graphique de ces résultats. Comme on s'en aperçoit aisément, les valeurs de *w* sont comprises entre celles de *v* qui leur sont inférieures et celles de *v'* qui leur sont supérieures; elles dépassent même la moyenne arithmétique de *v* et de *v'*.

Recherchons maintenant, d'après les formules *II* et *III* ci-dessus, la quantité de vapeur contenue dans 1k, lors de la sortie et après la détente, la quantité de vapeur condensée et le volume relatif final. Nous aurons le tableau suivant :

TEMPÉRATURES initiales DE LA VAPEUR $t =$	TENSIONS initiales DE LA VAPEUR $n =$	POIDS DE VAPEUR à 100° contenu dans 1k mélange, A LA SORTIE $m_2 =$	POIDS D'EAU condensée pendant la détente $1 - m_2 =$	VOLUMES occupés par 1 kil. vapeur AQUEUSE à la sortie. $V =$
120°, 6	2 at.	0k, 960	0k, 040	1m3, 580
133, 91	3	0, 934	0, 066	1, 537
144	4	0, 917	0, 083	1, 510
152, 22	5	0, 904	0, 096	1, 488
159, 22	6	0, 892	0, 108	1, 468
165, 34	7	0, 882	0, 113	1, 452
170, 81	8	0, 874	0, 126	1, 439
175, 77	9	0, 866	0, 134	1, 426
180, 31	10	0, 860	0, 140	1, 416
184, 5	11	0, 854	0, 146	1, 406
195, 53	14	0, 838	0, 162	1, 380

On voit que lorsque la vapeur saturée et sèche s'écoule à l'air libre, la quantité qui se condense peut s'élever de 4 à 16 % du poids total. Pour les pressions auxquelles marchent ordinairement les générateurs, cette condensation est de 8 à 10 %.

Si l'on compare les chiffres de la dernière colonne avec les volumes relatifs de la vapeur à la tension qu'elle possède dans la chaudière admis pour la détermination du diamètre des soupapes, on constate d'énormes différences :

TENSIONS de LA VAPEUR n	VOLUMES OCCUPÉS PAR 1k DE VAPEUR A LA SORTIE EN ADMETTANT l'écoulement à détente $V =$	l'écoulement à pleine pression $u = \frac{1}{\Delta} =$ (1)	RAPPORTS de $\frac{V}{u} =$
2	1,580	m³ 0,897	1,76
3	1,537	0,618	2,49
4	1,510	0,475	3,18
5	1,488	0,387	3,84
6	1,468	0,328	4,47

A dix atmosphères, le rapport $\frac{V}{u} = 6{,}84$, il est de 7,4 à 11 at. et de 9,06 à 14.

J'ai représenté dans la figure 1 par les courbes u et V, leurs valeurs respectives à diverses tensions.

(1) Les densités, correspondant aux volumes de cette colonne, sont inscrites dans les aide-mémoires des ingénieurs, en regard des vitesses d'écoulement de la vapeur à l'air libre déduites de $v = \sqrt{2gh}$. L'exemple suivant montre combien les résultats auxquels on est conduit par ces chiffres sont erronés.

Lors d'une expérience faite sur un générateur Belleville, la quantité d'eau vaporisée a été de 920 litres en une heure. La vapeur produite s'écoulait à l'air libre par un ajutage divergent et de 0m,024 de diamètre, (l'angle de la divergence était de 10°). La pression a été en moyenne de 5 1/2 atm. effectives.

D'après les chiffres donnés par les aide-mémoires, la dépense aurait été de :

$$0^{m2},000452 + 582^{m} + 3600 = 947^{m3} \text{ en volume}$$

$$\text{ou en poids } \frac{947^{m3}}{0,300} = 3,156^{kil.}!$$

On comprend que, à circonstances égales de vaporisation et de levée et en admettant le même coefficient de contraction, si la surface réglementaire doit être réduite dans le rapport des vitesses $\frac{w}{v}$, elle doit par contre être augmentée dans le rapport $\frac{V}{u}$ des volumes occupés à la sortie, C'est-à-dire, si nous représentons par s' la surface d'écoulement à fournir par la soupape en admettant comme bases la surface de chauffe et une vaporisation de 100^k par mètre carré de cette surface, de plus, un coefficient de contraction de 0,7 et la même levée que dans les soupapes réglementaires dont nous représenterons la surface affectée à l'écoulement par s_1, nous pouvons dire que les deux surfaces s' et s_1 sont en raison inverse des vitesses et en raison directe des volumes relatifs de la vapeur au moyen desquels on les a déterminées.

$$\frac{s'}{s_1} = \frac{V}{u} \times \frac{v}{w}$$

D'après les formules I et II au contraire, la quantité de vapeur serait de :

$$0^{m^3},000452 + 765^m + 3600 = 1244^{m^3},8 \text{ en volume}$$

$$\text{ou de } \frac{1244,8}{1^{m^3},460} = 853^k \text{ en poids.}$$

La dépense pratique aurait par suite surpassé la dépense théorique, ce qui pourrait être attribué ou à l'entraînement d'une certaine quantité d'eau (fait qui probablement n'a pas eu lieu par suite de la disposition du générateur) ou à la divergence de l'ajutage. Il se serait donc produit là un phénomène analogue à ce qui passe avec les liquides. Pour le cas actuel, la dépense pratique aurait été de $\frac{920}{853} = 1,07$ la dépense théorique.

D'autres exemples, qu'on verra plus loin, montrent l'exactitude des formules I et II par lesquelles il serait utile de remplacer, je pense, celle qui ont servi à la rédaction des tableaux insérés dans les aide-mémoires.

En prenant la formule $v' = \sqrt{2g\, p^n v^n \, log.\, nep.\, n}$ et le volume relatif à 100 on aurait des résultats assez approchés.

Ce qui donne pour les différentes tensions:

$n = 2$ atm.,	$\frac{s'}{s_1} = 1,57$.	Et le rapport des diam. $\frac{d}{D} =$	1,25
3, id.	2,09		1,45
4, id.	2,57		1,60
5, id.	3,		1,73
6, id.	3,43		1,85

Ainsi de 2 à 6 atm. de tension, les diamètres des soupapes, calculés en admettant l'écoulement à détente, sont de 1,25 à 1,85 fois les diamètres réglementaires, toutes les autres conditions étant égales d'ailleurs.

La fig. 2 de la planche III est la représentation graphique des valeurs de s_1 et de s' et de leur rapport, non seulement pour les tensions de 2 à 6 atm., mais aussi pour les pressions snpérieures, en admettant qu'on ne s'arrête point à 6 atm. comme dans la table réglementaire.

III

Dans la détermination de la formule réglementaire, on a admis comme base, la surface de chauffe et supposé par mètre carré de cette surface une vaporisation de 100^k d'eau que peut seule donner la tôle plongée dans le feu.

Je crois qu'il y a lieu de considérer ce chiffre comme exagéré. En effet, la soupape de sûreté ne fonctionne que dans les circonstances ordinaires, c'est-à-dire lorsque la production de vapeur dépasse la consommation ou bien qu'elle continue avec plus ou moins d'activité alors que la machine a cessé de fonctionner. Elle prévient, si pas totalement, en grande partie du moins (comme nous le verrons plus loin), la surélévation de la pression et limite celle-ci de façon à ce que la sécurité des appareils ne soit pas compromise.

Les accidents survenus jusqu'à présent ont montré son inefficacité dans les circonstances extraordinaires, c'est-à-dire :

1° Quand par suite du manque d'eau qui a amené un rougissement de la tôle et d'une alimentation intempestive, une certaine quantité d'eau, d'abord à l'état vésiculaire, passe brusquement à l'état de vapeur ;

2° Quand l'eau s'étant surchauffée, par suite de l'absence de l'air par exemple, une certaine quantité se résout instantanément en vapeur, en ramenant la température de l'eau à celle de la vapeur en contact avec elle.

On comprend du reste très bien que l'instantanéité de la production empêche la soupape, même fut-elle d'un grand diamètre, de rendre aucun service.

La surface de chauffe ne me paraît pas devoir être considérée comme un élément bien convenable pour servir de base au calcul que l'on veut faire. En effet, une grille étant donnée ainsi que les moyens de combustion, on peut étendre considérablement la chauffe soit par des tubes chauffeurs, soit par l'adjonction de tubes réchauffeurs ou bouilleurs, afin d'utiliser le mieux possible la chaleur produite dans le foyer; mais ce dernier résultat entraîne nécessairement comme conséquence la diminution du pouvoir vaporisant moyen du mètre carré de surface de chauffe. Il résulte de la formule réglementaire que, dans ce cas, il faut augmenter le diamètre de la soupape dans des proportions qui dépassent notablement celle de l'accroissement possible de production de vapeur.

Les grandes soupapes ne sont d'ailleurs pas sans inconvénients. Quand elles dépassent certaines dimensions, leur entretien est difficile, leur contact avec le siége est rarement bien établi, elles soufflent facilement et souvent, de sorte qu'il peut arriver que le chauffeur, impatienté de la dépense de vapeur, les surcharge. De plus, en cas de soulèvement brusque du disque, laissant une surface trop

grande à l'écoulement, il y aurait lieu de craindre un abaissement trop rapide de pression et, par suite, une ébullition tumultueuse qui pourrait être nuisible.

Pour mieux faire ressortir comment les chiffres donnés par la formule réglementaire peuvent parfois tomber en dehors des conditions de la pratique, je citerai l'exemple suivant :

La chaudière d'un bateau appartenant à la marine royale belge mesure 175 mètres carrés de surface de chauffe. La pression effective de marche étant 1 $^1/_2$ at., il en résulte qu'il faudrait donner à la soupape, d'après le réglement, un diamètre d'au moins $0^m,24$.

Il pourrait en être de même avec les chaudières à tubes réchauffeurs.

La puissance de vaporisation d'un générateur de vapeur, quel qu'il soit, dépend évidemment de la quantité de chaleur produite dans le foyer et de l'utilisation de cette dernière. Mais si bien qu'on dispose la surface de chauffe, si étendue qu'on la fasse pour arriver à la plus grande utilisation possible, on ne peut dépasser un certain chiffre, que les données théoriques et expérimentales permettent de fixer d'avance.

La quantité de chaleur produite dans le foyer varie naturellement avec la surface de grille, la quantité et la qualité du charbon brûlé, le mode de tirage, les soins apportés, etc. Mais, le mode de tirage étant donné, il est facile de déduire, des nombreux résultats que l'on possède, le maximum de charbon que l'on peut brûler utilement par unité de surface de grille d'une manière à peu près complète, de façon à obtenir la plus grande intensité de chaleur. En dépassant ce taux, on n'aurait pour résultats qu'une combustion moins parfaite et une moindre utilisation.

La surface de grille et une puissance de vaporisation en rapport avec le mode de tirage adopté, tels sont les élé-

ments qui me paraissent devoir mieux convenir comme point de départ dans la recherche à faire.

La grille est d'ailleurs plus aisément et plus rapidement mesurée et offre ainsi un contrôle plus efficace.

L'idée n'en est du reste pas neuve. La Commission qui, en Amérique, avait été chargée de déterminer les prescriptions réglementaires à imposer aux soupapes de sûreté et dont le rapport a été publié par le journal anglais *l'Artisan*, est partie de ce principe. M. Thomas Baldwyn, dans sa note lue à l'Association des ingénieurs anglais et publiée par le *Mechanics' Magazine*, prend également cette base.

Dans les chaudières à tirage naturel ou peu forcé, on peut brûler jusqu'à 1^k et même $1^k,5$ de charbon par heure et par décimètre carré de grille (1). Si l'on admet que chaque kilogramme de charbon vaporise 10^k d'eau — chiffre vers lequel tendent, sans jamais l'atteindre, toutes les améliorations — on aura, par décimètre carré de grille un poids k de 10 ou 15^k de vapeur. Ce qui suppose une vaporisation par mètre carré de surface de chauffe donnée ci-contre, pour divers rapports de cette surface à celle du foyer :

(1) Des résultats, observés très-consciencieusement et qui m'ont été obligeamment communiqués, font voir que les bateaux malles-postes ne consomment pas plus de 3 t. de charbon au maximum par heure, ce qui correspond à environ $1^k,5$ par décimètre carré de grille, dans le même temps. Et certes, la production de vapeur reste fort au-dessous de celle que nous admettons par sécurité.

$\frac{S}{g} =$	$K = 10.$	$K = 15.$	
5	200 kil.	300 kil. (1)	eau vaporisée.
10	100	150	—
15	66.6	100	—
20	50	75	—
25	40	60	—
30	33,3	50	—
35	28,5	43	—
40	25	37,5	—
45	22,2	33,3	—
50	20	30	—
60	16,6	25	—

L'examen de chiffres obtenus, soit habituellement dans l'industrie, soit même dans des expériences soigneuses, ainsi que du tableau qui précède, m'amène à croire que, dans le cas où nous nous plaçons, il suffirait déjà d'adopter le chiffre de 10 ^{k} de vapeur par décimètre carré de grille. Celui de 15 ^{k} me paraît toutefois préférable et à conseiller en vue d'accroître la sécurité et surtout de réduire la levée et la surélévation de pression qui l'accompagne.

Pour les chaudières à tirage forcé, comme celles des locomotives, on peut admettre une combustion de 2^{k} à $2^{k},5$ par décimètre carré de grille, par suite, une vaporisation de 20 à 25^{k} d'eau. Ces chiffres sont plutôt exagérés; il est bon de noter en effet que, si le tirage est obtenu par de la vapeur de décharge, la vaporisation doit baisser lors de l'arrêt de la machine et qu'en outre la quantité d'eau en-

(1) Les chiffres 200^{k}, 300^{k} et 150^{k}, qui sont exagérés, montrent que la base proposée tend à majorer le diamètre de la soupape pour les petites chaudières; mais l'inconvénient, si toutefois c'en est un, est négligeable.

traînée est considérable. Mais, en revanche, il faut tenir compte de toutes les circonstances qui peuvent se présenter et remarquer que, les soupapes appliquées aux générateurs de l'espèce étant maintenues au moyen de ressorts, l'écoulement de la vapeur est contrarié et la pression de celle-ci tend à se surélever davantage. Du reste, ce genre de générateurs marchant généralement à des pressions élevées, les diamètres obtenus restent faibles.

Une difficulté se présente avec les chaudières chauffées par les flammes perdues des fours. On ne peut prendre comme base la surface du foyer, car, en admettant que l'on pourrait en agir ainsi avec certains générateurs et certains fours (à puddler, à réchauffer, etc.), un grand nombre d'appareils, comme par exemple ceux chauffés par les flammes perdues des fours à coke échapperaient à ce mode d'appréciation. Dans cette circonstance, il me paraît préférable d'avoir recours à la surface de chauffe et d'admettre une vaporisation de 50^k seulement par mètre carré et par heure, chiffre que l'on trouvera suffisamment élevé, eu égard au mode indirect de chauffage. On pourrait aussi bien, pour diminuer le nombre de formules, admettre un certain rapport, 20 par exemple, de la chauffe à la grille afin d'avoir une surface de foyer supposée, à l'aide de laquelle on déterminerait aisément le diamètre à donner à la soupape,

IV

On comprend que la soupape de sûreté ne prévient pas entièrement les augmentations de pression. Lorsque le disque se soulève d'une certaine quantité au-dessus de son siége, il est en équilibre en cette position ; la pression, qui

agit en-dessous de lui et fait équilibre à son poids et à sa charge, n'est pas la pression statique de la vapeur à l'intérieur du générateur (1). Celle-ci, en s'écoulant, se détend latéralement et peut-être aussi, mais plus faiblement, en hauteur; il en résulte que son effet sur le disque varie très-probablement, dans certaines limites, selon les zônes sur lesquelles elle agit. De là, si l'orifice d'écoulement est insuffisant dès l'abord, la conséquence inévitable de l'accroissement de la pression intérieure qui fera lever la soupape jusqu'à ce qu'elle se trouve de nouveau en équilibre à un certain point du jet fluide. Plus elle se levera, plus la surélévation de pression sera sensible et cet accroissement ne s'arrêtera que quand la surface d'écoulement sera suffisante pour l'évacuation de la vapeur produite. Il y aura, en tous cas, un maximum qui ne pourra être dépassé, les surfaces d'écoulement devenant relativement plus petites à mesure que la tension augmente.

La levée de la soupape étant un des éléments du problème, j'ai fait quelques expériences pour en apprécier la portée.

La chaudière, qui a servi à cette occasion, est représentée en coupe longitudinale et transversale par les fig. 3 et 4, de la planche III. Elle est à foyer intérieur et se trouve timbrée pour marcher à 3 atm. Ses dimensions

(1) M. le professeur Jos. Klotz, dans un article paru en juin 1861 dans le *Zeitschrift der oesterreichischen Ingenieur-Vereines*, appelle l'attention sur ce point et il indique, à ce propos, une nouvelle forme de soupape, dans laquelle la vapeur qui doit agir sur elle et la tenir en équilibre est séparée, au moyen d'un tuyau à pavillon aboutissant en-dessous du disque, de celle qui s'écoule latéralement. Cette disposition est assez ingénieuse pour mériter d'être mieux connue.

En parlant des soupapes ordinairement usitées, l'auteur émet l'opinion qu'il peut résulter de leur emploi des accroissements dangereux de pression. Les expériences relatées plus loin ne me permettent pas de partager ces craintes qui sont exagérées.

Par le calcul, il est aisé du reste de voir que, si la vapeur qui s'écoule agissait seulement au centre du disque avec la pression intérieure et avec une pression proportionnellement décroissante jusqu'aux bords où elle est nulle, cette pression intérieure devrait être environ le triple de la pression de marche pour que

sont les suivantes : longueur $5^m,25$; diamètre, $1^m,70$; diamètre du tube, $0^m,90$. La surface de chauffe mesure 30^{m^2} et la grille $1^{m^2},10$.

Les fig. 5 et 6 représentent, en élévation et en projection horizontale, l'appareil destiné à enregistrer les levées de la ou des soupapes. Le disque, en se levant, agit sur un petit balancier à bras égaux, lequel communique son mouvement à un autre dont les bras sont dans le rapport de 1 à 10. Un crayon, assujetti à l'extrémité de ce dernier, trace un arc de cercle, qui représente dix fois la levée sur un cartouche en papier placé dans un petit cadre en cuivre.

A mesure que le manomètre indiquait un accroissement de pression, on marquait, sur le cartouche, un trait horizontal à l'endroit où se trouvait la pointe.

Si l'on voulait rendre ce relevé plus précis et plus facile, on pourrait substituer au cadre un tambour revêtu d'une feuille de papier quadrillé et qui tournerait assez lentement d'un mouvement uniforme. Il suffirait alors d'observer seulement le manomètre et de noter les instants où la pression s'accroit.

Dans les expériences qu'on va voir, la vapeur, produite par un feu actif, n'avait d'autre issue que les orifices des soupapes.

la soupape fût en équilibre. Les faits indiquent qu'il n'en est pas ainsi et par conséquent que la vapeur doit agir à pleine pression (peut être un peu inférieure à celle de la chaudière) sur une notable partie du disque et à détente sur le bord restant. La première zône, facile à calculer, varie, si on la détermine en admettant une surélévation de pression d'une atmosphère, d'un peu plus du tiers aux neuf dixièmes du rayon pour des pressions de 1 à 9 atm. Or, pour les basses pressions, la vapeur, en s'écoulant, agissant très-probablement à pleine pression sur une zône plus grande que celle indiquée par ce calcul, il en résulte que les accroissements de tension seront toujours très-faibles, tandis qu'ils seront un peu plus élevés pour les hautes pressions, attendu que la même zône d'action de la vapeur sera au contraire plus petite, dans ce cas, que celle déterminée précédemment.

EXPÉRIENCES DU 24 AOUT 1868.

Les soupapes, dont est munie la chaudière, sont au nombre de deux, en cuivre, à siége plat et à 3 ailettes. Leur diamètre intérieur est de $0^{m},07$ (1), le recouvrement étant de 2^{mm}, le rapport de la surface annulaire de contact à la surface intérieure est de 0,11.

1. La charge totale sur chacune d'elles est un peu différente. Elle est de $119^{k},62$ sur la soupape en communication avec l'appareil indicateur et de $123^{k},9$ sur la seconde; ce qui correspond respectivement à une pression de :

$2^{at.},71$ et $2^{at.},75$, si l'on calcule d'après le diam^tre^ extérieur,
$3^{at.}$ et $3^{at.},1$ id. intérieur.

Le feu est en bonne activité.

A la pression de 2 1/2 at., les 2 soupapes commencent déjà à souffler;

A la pression de 2 3/4 at., la levée est de $0^{mm},2$
id. 3 at., id. 0 ,7.

L'une d'elles étant calée, l'autre se lève subitement à $1^{mm},4$.

La pression n'augmente pas malgré l'activité du feu.

2. La charge totale est modifiée ; elle est portée à $133^{k},25$ sur la soupape indicatrice et à $132^{k},08$ sur l'autre, ce qui correspond respectivement à une pression de :

$3^{at.}$ et $2^{at.},97$, si l'on calcule d'après le diam^tre^ extérieur,
3,46 et 3 ,32, id. intérieur.

(1) D'après le réglement, il devrait être au moins de $0^{m},075$.

A la pression de 3 at., les 2 soupapes soufflent déjà;

id.	3 1/12, leur levée est de		0^{mm}, 3;
id.	3 1/6,	id.	0, 4;
id.	3 1/4,	id.	0, 6;
id.	3 1/3,	id.	0, 75;

Une des soupapes est calée:

à 3$^{at.}$, 2/9, l'autre se lève de		1^{mm},15;
3 , 3/8,	id.	1^{mm},35.

La pression n'augmente pas malgré l'activité du feu.

Il semble ressortir de ces expériences que les soupapes ont soufflé dès que la pression intérieure a atteint celle qui correspondait à l'action de la charge totale sur la surface extérieure et n'a pu dépasser celle correspondant à l'effet de cette même charge sur la surface intérieure du disque.

Mais il est nécessaire de faire remarquer que les indications étaient données par un manomètre métallique, lequel d'après des observations postérieures, n'était pas rigoureusement exact. Ces indications étaient un peu au-dessous de la vérité. Toutefois, en tenant compte de cette circonstance, l'augmentation de la pression n'a pas été considérable et n'a guère dépassé 1/4 atm.

EXPÉRIENCES DU 9 AOUT 1869.

La pression de la vapeur à l'intérieur du générateur est indiquée cette fois et la suivante par un manomètre à mercure et à air libre.

Deux autres soupapes, d'un diamètre beaucoup moindre (0^{m}, 03 intérieur), sont adaptées au générateur, elles sont toutes deux en communication avec l'appareil indicateur et fonctionnent ensemble. Le recouvrement étant de 1^{mm},5, la surface annulaire de contact est égale au 1/5 de la surface intérieure.

3. La charge totale, uniforme, est de 17^k, 84 sur chacun des deux disques ce qui correspond à une pression de :

2^{at}, 02 en calculant d'après le diamètre extérieur;
2^{at}, 44 id. id. intérieur.

La vapeur atteignant la pression de 2^{at},25, les soupapes soufflent plus énergiquement à mesure que la pression s'élève :

A la pression de	2^{at},5	leur levée est de	0^{mm}, 7;
id.	2 ,75	id.	1, 05;
id.	2 ,875	id.	2, 2.

La pression reste stationnaire malgré l'activité du feu.

4. La charge totale est portée à 22^k, 08, ce qui correspond à une pression de :

2^{at},5 en calculant d'après le diamètre extérieur;
3^{at},02 id. id intérieur.

A la pression de 2^{at},5 les soupapes soufflent;
2 ,75 id. id, énergiquement et commencent à se lever sensiblement;
3, » la levée est de 1^{mm},4;
3,25 id. 1 ,9.

La pression n'augmente plus.

EXPÉRIENCES DU 30 AOUT 1869.

Une seule des deux soupapes de 0^m,03 de diamètre fonctionne cette fois, (le disque est représenté fig. 7). Les autres sont parfaitement calées.

5. La charge totale est de 22^k,9, ce qui correspond à une pression de :

3^{at},05 sur la surface intérieure;
et 2 ,52 id, extérieure.

A la pression de 2^{at},42, les soupapes soufflent ;

2, 5,	la levée est de	0^{mm}, 2;	
2, 625,	id.	0, 8;	
3	id.	1, 3;	
3, 17,	id.	1, 8;	
3, 25,	id.	2 ;	
3, 375,	id.	4 ;	
3, 4,	id.	7, 5,	précisément le quart du diamètre.

La pression n'augmente plus, malgré l'activité du feu.

En examinant et comparant les divers résultats fournis par le fonctionnement d'une ou de deux soupapes de même diamètre et des appareils de diamètres différents, on s'aperçoit qu'il existe une certaine relation entre les levées et les accroissements de pression, non seulement dans chaque cas pris isolément, mais aussi dans l'ensemble.

Les quelques irrégularités que l'on remarque tiennent en majeure partie à l'influence du recouvrement. C'est ainsi que dans l'expérience 4, les soupapes ont soufflé relativement avec plus de rapidité que dans la précédente, probablement parce qu'elles avaient déjà fonctionné et qu'il en était résulté un déplacement dans la ligne de contact. Il importe donc, si l'on veut que le jeu des appareils de l'espèce se fasse avec régularité et en temps opportun, sans entraîner des dépenses de vapeur qui pourraient pousser un chauffeur à surcharger les soupapes, de réduire la surface de recouvrement de ces dernières au minimum exigé par la résistance du métal employé et de tenir compte des précautions indiquées pour leur entretien.

Parmi les expériences que nous venons de rapporter, il faut noter tout spécialement la dernière dans laquelle, pour une levée égale au quart du diamètre, l'augmentation de pression n'a pu atteindre même 1/2 at. sur la charge corres-

pondant au diamètre intérieur ou 1 at. sur la charge extérieure, malgré l'activité du feu et l'emploi d'une seule soupape d'un diamètre inférieur à plus de la moitié de celui exigé par le réglement. Ce jour-là, la vaporisation a été la plus grande, comme on peut le voir par la comparaison des surfaces totales d'écoulement (déduction faite de la partie occupée par les ailettes) correspondant aux plus grandes tensions. Ces surfaces, qui donnent à peu près le rapport de la puissance de vaporisation dans les divers cas, ont été respectivement à la fin des expériences :

1	2	3	4	5
$2^{\text{cent.carrés}},8$	$3^{c.q.}$ et $2^{c.q.},7$	$3^{c.q.},4$	$2^{c.q.},29$	$5^{c^2},8$

M. Baldwyn, dans ses recherches déjà citées, rend compte d'expériences faites par lui sur diverses soupapes adaptées à une chaudière ordinaire de Lancashire de laquelle il ne donne pas les dimensions. Parmi les résultats qu'il a trouvés, je citerai les suivants :

Avec une soupape à siége plat de $0^{m},0286$ de diamètre, il a constaté

les augmentations de pression de :	pour des levées de :
$0^{k},668$ et $0^{k},711$	$0^{mm},32 = \frac{D}{90}$
$0^{k},984$ et $0^{k},869$	$1^{mm},27 = \frac{D}{22,5}$
$1^{k},125$ et $1^{k},001$	$2^{mm},54 = \frac{D}{11}$
$1^{k},230$ et $1^{k},09$	$3^{mm},81 = \frac{D}{7,5}$
$1^{k},300$	$5^{mm},08 = \frac{D}{5,6}$

La pression était maintenue constante dans la chaudière ($4^{k},568$) et l'on faisait varier la charge sur la soupape.

Dans mes expériences, qui donnent des résultats assez approchés de ces derniers quoique inférieurs, la charge sur la soupape était au contraire constante dans chaque cas et le feu était activé de façon à produire une grande quantité de vapeur et à modifier la tension de celle-ci.

De ces données expérimentales, on peut déduire, ce me semble, pour le calcul que nous voulons faire, que la levée de la soupape peut atteindre sans inconvénient la moitié du rayon ; l'élévation de pression qui en résulte n'étant pas assez notable pour compromettre la sécurité du générateur. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que notre but est de poser une limite inférieure au-dessus de laquelle la pratique peut rester. Toute majoration donnée aux diamètres déduits des bases posées, aura pour effet d'amoindrir les accroissements de pression; ce à quoi concourra également cette circonstance que la vaporisation sera généralement inférieure, et de beaucoup, à celle que nous avons admise.

Lors des expériences 4 et 5, la quantité d'eau vaporisée pendant un certain temps ayant été mesurée assez exactement, j'ai pu arriver à établir quelle avait été la valeur du coefficient moyen de contraction.

Dans l'expérience 4, qui a duré 32 minutes, le poids d'eau consommée a été de 100^k. En prenant la surface d'écoulement aux divers instants et la multipliant par la vitesse de sortie de la vapeur, déduite de la courbe *W* ou du tableau correspondant, on obtient le volume d'environ 195 mètres cubes de vapeur évacué par les soupapes; le volume du kilogramme de vapeur à la sortie étant en moyenne de $1^{mc},52$, le poids correspondant est de 128^k (1), ce qui donne pour le rapport de la dépense pratique à la dépense théorique $\frac{100}{128} = 0,78$.

(1) Voir la note 1 page 79.

L'expérience 5, qui a été plus précise que la précédente, a duré 41'. Pendant les 18 dernières minutes, la vaporisation a été de 190^k ; ce qui correspond à 635^k par heure ou à $21^k,3$ par mètre carré de surface de chauffe et à 6^k par décimètre carré de grille dans le même temps.

Le poids, calculé comme il vient d'être dit, au moyen des résultats fournis par les formules I et III, se trouve être de 215^k (1).

Le coefficient de contraction a donc été de $\frac{190}{215} = 0,88$.

Les deux chiffres obtenus diffèrent de 0,1 ; cet écart peut provenir de ce que, dans le dernier cas, l'écoulement s'est produit par une seule soupape et non par deux, ou de ce qu'une certaine quantité d'eau a été entraînée mécaniquement, plus grande dans la dernière observation que dans la précédente. Quoiqu'il en soit, je crois que, eu égard à cette dernière circonstance et afin de tenir également compte des dispositions plus ou moins heureuses qu'on peut donner à la soupape, il convient d'admettre pour le coefficient de contraction une valeur un peu plus faible et de s'en tenir à celle adoptée autrefois : $k = 0,7$.

V

Il est aisé de rechercher maintenant, d'après les données établies, le diamètre minimum à donner aux soupapes de sûreté des chaudières à tirage naturel ou peu forcé (2) et de celles à tirage forcé.

(1) En calculant de la même manière, mais en prenant les vitesses et les densités données par les aide-mémoires pour l'écoulement de la vapeur à l'air libre, au lieu de 128^k et de 215^k, on trouverait respectivement 338^k et 571^k, c'est-à-dire trois fois la quantité réelle !

(2) Comme dans les locomobiles ordinaires et les chaudières de bateau.

Appelons :

q, la production de vapeur par décimètre carré de grille et par heure ;

g, la surface de la grille en décimètres carrés ;

δ, la densité de la vapeur à la sortie, $\delta = \frac{1}{V}$;

s', la surface d'écoulement à fournir par la soupape ;

les autres lettres employées conservant les mêmes valeurs que dans les formules *I*, *II* et *III*;
on a :

$$s' w \delta = \frac{q\,g}{3600} \qquad (a)$$

$$\text{Or} \qquad w = \sqrt{2g\ 424\ \frac{r\,(t - 100)}{273 + t}}$$

$$\text{et } \delta = \frac{1}{V} = \frac{273 + t}{0{,}695 \times 1{,}646\ (506{,}5 + 0{,}305\ t)}$$

Par substitution, il vient :

$$s' \times \frac{91{,}208}{0{,}695 \times 1{,}646} \frac{\sqrt{r(t-100)}\sqrt{273+t}}{506{,}5 + 0{,}305\ t} = \frac{q\,g}{3600}\ (b)$$

$$r = 606{,}5 + 0{,}305\ t - t$$

L'équation (b) devient alors :

$$s' \times 79{,}73 \frac{\sqrt{676\,t - 0{,}695\,t^2 - 60650}\sqrt{273+t}}{506{,}5 + 0{,}305\ t} = \frac{q\,g}{3600}\ (c)$$

$$\text{Posons } f\,(t) = \frac{506{,}5 + 0{,}305\ t}{\sqrt{676\ t - 0{,}695\ t^2 - 60650}\sqrt{273 + t}}$$

De l'équation (c), déduisons s' :

$$s' = \frac{1}{79{,}73} f\,(t)\,\frac{q\,g}{3600} \qquad (d)$$

Pour exprimer s' en centimètres carrés, il faut multiplier le second membre de l'équation (d) par 10000.

$$s' = \frac{10000}{79,73} f(t) \frac{q\,g}{3600}$$

$$s' = 0,0348\, f(t)\, q.\, g. \qquad (f.)$$

Quoique la chose ne soit pas bien nécessaire, j'ai cherché à exprimer $f(t)$ d'une manière plus simple. On pourrait prendre à la place :

$$\varphi(t) = \frac{1 + 0,0006\, t}{0,075\, t - 5}$$

qui donne, pour les diverses températures, des valeurs très-approchées des valeurs réelles, comme on peut s'en convaincre par le tableau suivant :

TENSIONS DE LA VAPEUR.	VALEURS de $f(t)$.	VALEURS de $\varphi(t)$.
1 1/2 at.	0,3498	0,32
2	0,2640	0,26
3	0,2056	0,21
4	0,1805	0,18
5	0,1660	0,17
6	0,1558	0,157
11	0,1309	0,125
14	0,1234	0,116

Ayant calculé $f(t)$ pour toutes les pressions, nous nous servirons des valeurs exactes.

Nous avons admis que la dépense pratique = 0,7 la dépense théorique, ce qui revient à augmenter la surface d'écoulement de la soupape dans le rapport de 1 à 1,4.

$$s'_1 = 1,4\, s' = 0,04872\, f(t)\, q.\, g.$$

La levée maxima pouvant atteindre aisément le quart du diamètre; on aura :

$$\pi\, d \times \frac{d}{4} = 0{,}785\, d^2 = 0{,}04872\, f(t)\, q.\, g.$$

$$\text{D'où } d = \sqrt{0{,}062\, f(t).\, q.\, g}$$

$$\text{Pour } q = 10^k \quad d_1 = \sqrt{0{,}62\, f(t).\, g.} \quad = 0{,}788 \sqrt{f(t).\, g.}$$

$$q = 15^k. \quad d_2 = \sqrt{0{,}93\, f(t)\, g} \quad = 0{,}965 \sqrt{f(t).\, g.} \quad (A)$$

$$q = 20^k \quad d'_1 = \sqrt{1{,}24\, f(t).\, g} \quad = 1{,}114 \sqrt{f(t)\, g}$$

$$q = 25 \quad d'_2 = \sqrt{1{,}55\, f(t)\, g} \quad = 1{,}245 \sqrt{f(t).\, g.} \quad (B)$$

Je donne ci-contre, pour toutes les tensions, un tableau des valeurs des surfaces d'écoulement ainsi que des diamètres des soupapes, *pour 1 décimètre carré de grille*, déduites des formules qui précèdent. Il suffira, si l'on veut connaître, dans l'une ou l'autre circonstance, le diamètre minimum à donner aux soupapes d'une chaudière déterminée, de multiplier le chiffre, trouvé dans cette table et correspondant à la tension maximum à laquelle le générateur peut marcher, par la racine carrée de la surface de grille exprimée en décimètres carrés.

Les valeurs déduites des expressions d_2 et d'_2 ne donnent en aucun cas, comme on le verra par quelques applications, des dimensions sortant des conditions de la pratique. Ce sont les limites inférieures qui me paraissent devoir être adoptées de préférence par les constructeurs.

TENSIONS de LA VAPEUR.	TEMPÉRATURES correspondantes	VALEURS DE		CHAUDIÈRES A TIRAGE NATUREL				CHAUDIÈRES A TIRAGE FORCÉ			
				$q = 10^k$		$q = 15^k$		$q = 20^k$		$q = 25^k$	
		$f(t)$.	$\sqrt{f(t)}$.	SURFACES.	DIAMÈTRES d_1.	SURFACES.	DIAMÈTRES d_2.	SURFACES.	DIAMÈTRES d'_1.	SURFACES.	DIAMÈTRES d'_2.
AT.	°			c^2	CENT.	c^2	CENT.	c^2	CENT.	c^2	CENT.
1 1/2	111,74	0,3498	0,592	0,1704	0,466	0,2556	0,571	0,3408	0,658	0,4260	0,737
2	120,6	0,2640	0,514	0,1286	0,405	0,1929	0,496	0,2572	0,573	0,3215	0,640
2 1/2	127,8	0,2270	0,477	0,1106	0,376	0,1659	0,460	0,2212	0,531	0,2765	0,594
3	133,91	0,2056	0,454	0,1002	0,358	0,1503	0,438	0,2004	0,506	0,2505	0,565
3 1/2	139,24	0,1911	0,437	0,0931	0,345	0,1396	0,422	0,1862	0,487	0,2328	0,544
4	144	0,1805	0,425	0,0879	0,335	0,1319	0,410	0,1759	0,473	0,2198	0,529
4 1/2	148,29	0,1724	0,415	0,0840	0,327	0,1260	0,401	0,1680	0,463	0,2100	0,518
5	152,22	0,1660	0,408	0,0809	0,321	0,1213	0,394	0,1618	0,454	0,2022	0,508
5 1/2	155,85	0,1604	0,401	0,0781	0,316	0,1172	0,387	0,1563	0,446	0,1954	0,499
6	159,22	0,1558	0,395	0,0759	0,311	0,1138	0,381	0,1518	0,440	0,1898	0,492
7	165,34	0,1484	0,385	0,0723	0,304	0,1084	0,372	0,1446	0,429	0,1807	0,480
8	170,81	0,1427	0,378	0,0695	0,298	0,1043	0,365	0,1390	0,421	0,1738	0,471
9	175,77	0,1380	0,372	0,0672	0,293	0,1008	0,359	0,1345	0,414	0,1681	0,463
10	180,31	0,1341	0,366	0,0653	0,288	0,0980	0,354	0,1306	0,408	0,1633	0,456
11	184,5	0,1309	0,362	0,0638	0,285	0,0957	0,349	0,1275	0,403	0,1594	0,451
12	188,41	0,1280	0,358					0,1247	0,399	0,1560	0,446
13	192,08	0,1256	0,354					0,1224	0,395	0,1530	0,442
14	195,53	0,1234	0,351					0,1202	0,391	0,1503	0,437
							A				*B*

Pour les chaudières chauffées par les flammes perdues, la limite inférieure des diamètres est aisée à trouver, d'après les bases déjà posées :

$$s'' = 0{,}04872 \times f(t) \times 50 \times S$$

S, représente ici la surface de chauffe.

$$s'' = 2{,}436\, f(t)\, S$$

d'où l'on déduit :

$$d'' = 1{,}76 \sqrt{f(t).\, S} \quad (C)$$

En calculant pour les diverses tensions, on a le tableau suivant :

TENSIONS de LA VAPEUR $n =$	SURFACES D'ÉCOULEMENT par MÈTRE CARRÉ DE CHAUFFE en cent. carrés.	DIAMÈTRES MINIMA de la soupape PAR M² DE CHAUFFE en centimètres.
1 1/2	0,8521	1,050
2	0,6430	0,905
2 1/2	0,5530	0,840
3	0,5008	0,800
3 1/2	0,4654	0,770
4	0,4397	0,748
4 1/2	0,4200	0,732
5	0,4044	0,718
5 1/2	0,3907	0,705
6	0,3800	0,695
7	0,3615	0,678
8	0,3480	0,666

VI

Il est intéressant de comparer les résultats que fournit l'application des formules *A*, *B*, *C*, et réglementaires à des chaudières de divers systèmes. Le tableau qui suit a été dressé à cette fin.

A cet égard, il convient de se rappeler que, dans les formules proposées, la levée de la soupape ayant été prise égale au quart du diamètre est, par conséquent, respectivement la même et la moitié moindre que celle admise dans les formules réglementaires tolérée en 1839 et actuelle, dont l'inexactitude a été démontrée précédemment. Si l'on voulait réduire cette levée de moitié, il faudrait doubler le diamètre; malheureusement on obtiendrait des valeurs qui tomberaient, dans beaucoup de cas, en dehors des dimensions pratiques. Il est vrai qu'on en serait quitte pour répartir la surface exigée, sur un plus grand nombre d'appareils. Mais cette condition peut ne pas toujours être aisée à réaliser et ce que nous avons vu démontre suffisamment d'ailleurs que cette précaution n'est pas nécessaire pour assurer la sécurité. Comme il a déjà été dit, les chiffres ne sont que des *limites minima* conseillées. Toute majoration donnée par le constructeur aura pour conséquence de réduire la levée du disque et d'affaiblir les accroissements de pression qui seront ordinairement minimes et d'autant plus que la vaporisation s'écartera de celle admise et que les deux soupapes exigées évacueront la vapeur produite.

DÉSIGNATION DE LA CHAUDIÈRE.	SURFACE DE CHAUFFE en mètres carrés.	SURFA[C]E DE GRI[L]LE en décimètres c[arrés]
1 Chaudière de bateau de la marine royale	278	1031
2 — — —	175	668
3 — cylindrique sans tubes	16	367
4 — à tubes réchauffeurs	39	294
5 — —	26	294
6 — —	49	272
7 — —	66	367
8 — à 2 foyers intérieurs, multitubulaire	135	454
9 — — —	80	254
10 — de locomobile (forme locomotive)	11	30
11 — avec tubes à retour de flamme	11	57
12 — verticale	4	44
13 — —	2	23
14 — système Belleville	25	144
15 — locomobile système Field	21	83
CHAUDIÈRES A TIRAGE FORCÉ.		
16 Locomotive à voyageurs	78	95
17 — à 4 roues accouplées	124	125
18 — express —	110	295
19 — mixte	92	293
20 — à marchandises	169	262
21 — — (petite)	25	45
22 — de charbonnages	16	61
23 — d'usines	49	74
CHAUDIÈRES CHAUFFÉES PAR LES FLAMMES PERDUES.		
24 Chaudière cylindrique horizontale	17	»
25 — verticale tubulaire	78	»
26 — —	27	»
27 — cylindrique horizontale	53	»
28 — — (fours à coke)	30	»

(1) Les diamètres des exemples 9 et 16 à 23 sont ceux donnés par la table annexé au réglemen[t]

TENSION MAXIMUM de la vapeur.	DIAMÈTRES MINIMA A DONNER AUX SOUPAPES D'APRÈS		
	LA FORMULE proposée.	LA FORMULE RÉGLEMENTAIRE tolérée en 1839 $D = 1,3\sqrt{\frac{S}{n - 0,412}}$	actuelle $D' = 2,6\sqrt{\frac{S}{n - 0,412}}$
ATM.	CENT.	CENT.	CENT.
	A		
3	14	13	26,5
2 1/2	11,8	11,9	23,8
5	7,5	2,4	4,8
5	6,76	3,75	7,5
5	6,76	3,06	6,12
4	6,76	4,9	9,8
5	7,5	4,87	9,74
6	8,1	6,4	12,8
7	5,9	4,9	9,8 (1)
5	2,2	2	4
6	2,9	1,8	3,6
5	2,6	1,2	2,4
5	1,9	0,85	1,7
5	4,8	3	6
5	3,6	2,8	5,6
	B		
9	4,5	4,9	9,8 (1)
9	5,4	6,1	12,2
9	8	5,8	11,6
9	8	5,3	10,6
9	7,6	7,2	14,4
13	3	{ 2,75 { 1,85	{ 5,5 (table) { 3,7 (formule)
10	3,6	2,2	4,4
8	4 .	3,85	7,7
	C		
4 1/2	3,01	2,68	5,3
5	6,32	5,3	10,6
5	3,7	3,1	6,2
5	5,2	4,4	8,8
3	4,4	4,4	8,8

...le qui fournirait des chiffres inférieurs.

De l'inspection du tableau ci-dessus il résulte que : les limites inférieures proposées (A, B et C) sont généralement supérieures à celles données par $D=1,3\sqrt{\frac{S}{n-0,412}}$ et inférieures au double de ces dernières.

Il est bon de noter que des exceptions peuvent se présenter en ce qui concerne ce dernier point. Les applications 3, 5, 12 et 13 en sont la preuve. La formule tolérée en 1839, donne manifestement des chiffres trop faibles, non seulement dans ces quatre cas, mais aussi dans les exemples 4, 6, 7 et 11.

Les exemples 1 et 2 sont également à remarquer.

Il en est de même pour 8 et 16 à 23. On sait que d'après la table A annexée au réglement du 21 avril 1864, pour les tensions supérieures à 6^{at}, les diamètres des soupapes restent les mêmes que pour 6^{at}; cela tient à ce que la formule donne des décroissements trop sensibles pour des pressions élevées, comme on peut le constater par l'examen de la courbe s_1 fig, 2 et l'application 21 du tableau précédent. Dans la formule B au contraire, les différences (voir le tableau page 83) diminuent considérablement à mesure que la tension s'élève, et la surface d'écoulement ou le diamètre tend vers une limite déterminée.

Je résume dans le tableau suivant, les conclusions de ce travail, qui me paraissent devoir être adoptées dorénavant.

TENSION MAXIMUM de la vapeur DANS LA CHAUDIÈRE.	DIAMÈTRES MINIMA A DONNER AUX SOUPAPES DE SURETÉ DES CHAUDIÈRES A VAPEUR		
	A TIRAGE NATUREL pour 1 décimètre carré de surface de grille. (1)	A TIRAGE FORCÉ pour 1 décimètre carré de surface de grille. (2)	CHAUFFÉES PAR DES FLAMMES perdues, pour 1 m² de surface de chauffe. (3)
ATM.	CENT.	CENT.	CENT.
1 1/2	0,571	0,737	1,050
2	0,496	0,640	0,905
2 1/2	0,460	0,594	0,840
3	0,438	0,565	0,800
3 1/2	0,422	0,544	0,770
4	0,410	0,529	0,748
4 1/2	0,401	0,518	0,732
5	0,394	0,508	0,718
5 1/2	0,387	0,499	0,705
6	0,381	0,492	0,695
7	0,372	0,480	0,678
8	0,365	0,471	0,666
9	0,359	0,463	»
10	0,354	0,456	»
11	0,349	0,451	»
12	»	0,446	»
13	»	0,442	»
14	»	0,437	»

Les chiffres des colonnes 1 et 2 doivent être multipliés par la racine carrée de surface de grille exprimée en décimètres carrés ; ceux de la colonne 3, par la racine carrée de la surface de chauffe exprimée en mètres carrés.

Liége, septembre 1870.

CONSTRUCTIONS.

RECHERCHES SUR LA DÉTERMINATION DES FATIGUES QUE SUBISSENT LES LONGERONS DANS LES PONTS TOURNANTS,

ou généralement

LES PIÈCES ÉQUILIBRÉES AUTOUR D'UN SUPPORT ET CALÉES A LEURS EXTRÉMITÉS,
PAR DES EFFORTS PLUS OU MOINS GRANDS, SUR DEUX APPUIS SITUÉS DE PART ET D'AUTRE DE CE SUPPORT,
A DES DISTANCES QUELCONQUES;

PAR

M. J.-H. BROEKHANS,
INGÉNIEUR AU CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES.

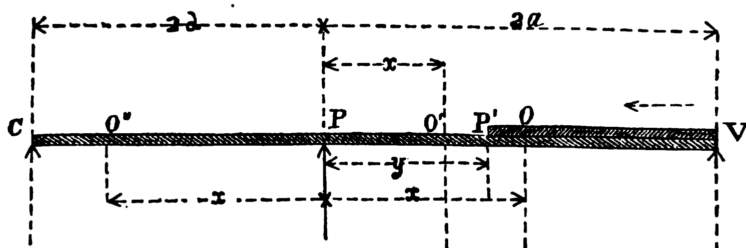
Les fatigues auxquelles sont exposés les longerons des ponts tournants dépendent évidemment des conditions particulières dans lesquelles ces pièces sont placées. La partie des longerons qui appartient à la culasse du pont peut être égale en longueur ou plus courte que la partie qui correspond à la volée et par suite le contrepoids destiné à équilibrer la volée peut être plus ou moins grand. Ces parties peuvent être chargées de diverses manières, notamment : d'un poids uniformément distribué sur une partie ou sur la totalité de la volée mais non sur la culasse ; d'un poids également distribué sur une partie ou sur la totalité de la culasse mais non sur la volée ; enfin d'un poids uniformément réparti sur les deux travées et

dans ces différents cas le pont peut être calé à ses extrémités par des efforts plus ou moins grands ou ne pas l'être du tout. Nous nous proposons dans ce qui suit de rechercher quelle est l'influence de ces diverses circonstances sur les fatigues qu'éprouvent les longerons, et de trouver par là les conditions qui leur sont avantageuses au point de vue de la résistance. Pour les ponts tournants à grande portée et destinés au passage de fortes charges il importe de déterminer aussi exactement que possible les dimensions de ces pièces, afin d'éviter qu'elles ne deviennent trop lourdes et de faciliter ainsi la manœuvre de semblables ouvrages. Les calculs qui suivent seront d'ailleurs applicables, sans changement, au cas général d'une pièce équilibrée autour d'un support et portée à ses extrémités sur deux appuis situés à différents niveaux.

1° *Poids uniformément distribué sur une partie ou sur la totalité de l'une des deux travées.*

A. VOLÉE.

Si l'on désigne par :



V et *C* les extrémités de la volée et de la culasse,

P le pivot,

p et p_1 le poids que supporte le longeron lorsque le pont n'est pas chargé et la surcharge du longeron par mètre courant,

y la longueur de la partie PP' de la volée non occupée par la surcharge,

x la distance du pivot à une section quelconque du longeron,

f la flèche du longeron à cette distance,

$2a$ la longueur de la volée,

2α la longueur de la culasse,

R et R_1 les réactions exercées par les appuis sur les longerons aux extrémités de la volée et de la culasse,

ε le moment d'élasticité du longeron,

μ le changement de longueur qu'éprouvent par unité de longueur les fibres les plus éloignées de l'axe neutre, dans une section quelconque dont la distance au pivot est x,

h' la distance de ces fibres à l'axe neutre,

l'on a pour les expressions de la fatigue ou du moment fléchissant.

Dans la partie VP' :

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = \frac{\varepsilon d^2 f}{dx^2} = \frac{p+p_1}{2}(2a-x)^2 - R(2a-x). \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

avec la condition $2a > x > y$.

$\frac{p(2a-x)^2}{2}$ est le moment du poids de la partie OV par rapport à la section O située à la distance x du pivot,

$\frac{p_1(2a-x)^2}{2}$ le moment de la surcharge de la partie OV par rapport à la même section,

$R(2a-x)$ le moment de la réaction en V.

Dans la partie $P'P$:

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = \frac{\varepsilon d^2 f}{dx^2} = \frac{p}{2}(2a-x)^2 + \frac{p_1}{2}(2a-y)(2a+y-2x) - R(2a-x). \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

avec la condition $x < y < 2a$.

$\frac{p_1}{2}(2a - y)^2(2a + y - 2x)$ est le moment de la surcharge de la partie $P'V$ par rapport à la section O' située à la distance x du pivot.

Dans la partie PC :

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = \frac{\varepsilon d^2 f}{dx^2} = \frac{p}{2}(2\alpha + x)^2 + \frac{p\,(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}(2\alpha + x) - R_1\,(2\alpha + x). \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

avec la condition $2\alpha > -x > o$.

x est supposé négatif dans cette partie.

$\frac{p}{2}(2\alpha + x)^2$ est le moment du poids de la partie CO'' par rapport à une section O'' située dans la culasse à la distance $-x$ du pivot.

$\frac{p\,(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}(2\alpha + x)$ le moment du contrepoids, supposé concentré à l'extrémité de la culasse, qui fait équilibre à la volée, par rapport à la même section $''O$,

$R_1\,(2\alpha + x)$ le moment de la réaction en C.

Déterminons les réactions R et R_1.

Nous aurons une première relation entre ces deux quantités en égalant les valeurs de $\frac{\varepsilon\mu}{h'}$ fournies par les équations (2) et (3) lorsqu'on y fait $x = o$. On obtient ainsi :

$$\frac{p_1}{2}(4\,a^2 - y^2) + 2\alpha\,R_1 = 2a\,\mathrm{R}. \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Pour trouver une deuxième relation entre R et R_1, il est nécessaire de tenir compte des hauteurs des trois points d'appui du longeron et par conséquent de calculer les flèches en C et V, par l'intégration des équations (1), (2)

et (3). Si l'on ordonne ces équations par rapport à x, il vient :

$$\varepsilon \frac{d^2 f}{dx^2} = x^2 \frac{p + p_1}{2} - x \left[2ap_1 + 2ap - R\right] + 2a^2 p_1 + 2a^2 p - 2aR. \;.\;.\;.\; x > y. \;.\;.\;.\; (5)$$

$$\varepsilon \frac{d^2 f}{dx^2} = x^2 \frac{p}{2} - x \left[(2a - y) p_1 + 2ap - R\right] + 2a^2 p_1 - p_1 \frac{y^2}{2} + 2a^2 p - 2aR. \;.\;.\;.\; x < y. \;.\;.\;.\; (6)$$

$$\varepsilon \frac{d^2 f}{dx^2} = \frac{x^2 p}{2} + x \left[\alpha p + \frac{a^2 p}{\alpha} - R_1\right] + 2a^2 p - 2\alpha R_1. \;.\;.\;.\; x < o. \;.\;.\;.\; (7)$$

L'on trouve par l'intégration, ε étant considéré comme constant :

$$\varepsilon \frac{df}{dx} = \frac{x^3}{6}(p + p_1) - \frac{x^2}{2}(2ap_1 + 2ap - R) + x(2a^2 p_1 + 2a^2 p - 2aR) + c. \;.\;.\;.\; (8)$$

$$\varepsilon \frac{df}{dx} = \frac{x^3}{6} p - \frac{x^2}{2}\left[(2a - y) p_1 + 2ap - R\right] + x\left(2a^2 p_1 - p_1 \frac{y^2}{2} + 2a^2 p - 2aR\right) + c'. \;.\;.\;.\; (9)$$

$$\varepsilon \frac{df}{dx} = \frac{x^3}{6} p + \frac{x^2}{2}\left[\alpha p + \frac{a^2 p}{\alpha} - R_1\right] + x(2a^2 p - 2\alpha R_1) + c''. \;.\;.\;.\; (10)$$

Deux constantes arbitraires c' et c'' seront déterminées en fonction de la troisième c, si l'on exprime que les équations (8) et (9) doivent donner la même valeur de $\frac{df}{dx}$ lorsque

l'on y fait $x = y$, tandis que (9) et (10) doivent donner la même valeur de $\frac{df}{dx}$ pour $x = o$, ce qui donne

$$c'' = c' = c + \frac{y^3}{6}p_1$$

Intégrons une seconde fois en tenant compte des valeurs de c' et c''; nous aurons :

$$\varepsilon f = \frac{x^4}{24}(p + p_1) - \frac{x^3}{6}(2ap_1 + 2ap - R) + \frac{x^2}{2}(2a^2p_1 + 2a^2p - 2aR) + xc + c_1 \dots \quad (11)$$

$$\varepsilon f = \frac{x^4}{24}p - \frac{x^3}{6}\Big[(2a - y)\,p_1 + 2ap - R\Big] + \frac{x^2}{2}\Big[2a^2p_1 - p_1\frac{y^2}{2} + 2a^2p - 2aR\Big] + x\left(\frac{y^3}{6}p_1 + c\right) + c_2 \dots \quad (12)$$

$$\varepsilon f = \frac{x^4}{24}p + \frac{x^3}{6}\Big[\alpha p + \frac{a^2p}{\alpha} - R_1\Big] + \frac{x^2}{2}\Big[2a^2p - 2\alpha R_1\Big] + x\left(\frac{y^3}{6}p_1 + c\right) + c_3 \dots \quad (13)$$

Il reste à trouver cinq relations entre les constantes $RR_1\ cc_1\ c_2\ c_3$, lesquelles jointes à l'équation (4) permettront de déterminer ces six inconnues; or, si nous désignons par h et h_1 les hauteurs de la partie inférieure du longeron respectivement à l'extrémité de la volée et de la culasse au-dessous de la partie inférieure du longeron au droit du pivot, nous pourrons dans les équations (12) et (13) faire $f = o$ pour $x = o$; dans (11) $f = h$ pour $x = 2a$; dans (13) $f = h_1$ pour $x = -2\alpha$; et enfin il restera à exprimer que les valeurs de f fournies par (11) et (12) doivent être égales pour $x = y$.

L'on obtient ainsi :

$$c_2 = c_3 = o \qquad c_1 = \frac{y^4}{24} p_1$$

$$\varepsilon h = 2a^4 p + p_1 \left(2a^4 + \frac{y^4}{24}\right) - \frac{8}{3} a^3 R + 2ac. \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

$$\varepsilon h_1 = \frac{2}{3} \alpha^2 p \,(4a^2 - \alpha^2) - \frac{\alpha y^3}{3} p_1 - 2\alpha c - \frac{8}{3} \alpha^3 R_1. \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Les équations (4), (14), (15) serviront à trouver les constantes c, R et R_1 ; si l'on élimine c entre les deux dernières il vient :

$$\varepsilon\,(ah_1 + \alpha h) = 2a\alpha p \left(\frac{4}{3} a^2 \alpha - \frac{\alpha^3}{3} + a^3\right) +$$

$$+ \alpha p_1 \left(2a^4 + \frac{y^4}{24} - \frac{a y^3}{3}\right) - \frac{8}{3} a\alpha\,(\alpha^2 R_1 + a^2 R). \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

Les équations (4) et (16) permettront finalement de calculer R et R_1 ; elles donnent en éliminant successivement R et R_1

$$\frac{8}{3} a\alpha^2 \; (a + \alpha) \; R_1 = 2a\alpha p \left(\frac{4}{3} a^2 \alpha - \frac{\alpha^3}{3} + a^3\right) + \alpha p_1$$
$$\left(- \frac{2}{3} a^4 + \frac{y^4}{24} - \frac{a y^3}{3} + \frac{2}{3} a^2 y^2\right) - \varepsilon\,(ah_1 + \alpha h). \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

$$\frac{8}{3} a^2 \alpha \; (a + \alpha) \; R = 2a\alpha p \left(\frac{4}{3} a^2 \alpha - \frac{\alpha^3}{3} + a^3\right) + \alpha p_1$$
$$\left(2a^4 + \frac{8}{3} a^3 \alpha + \frac{y^4}{24} - \frac{a y^3}{3} - \frac{2}{3} a\alpha y^2\right) - \varepsilon\,(ah_1 + \alpha h). \quad . \quad . \quad (18)$$

Observons maintenant que si dans les équations (17) et (18) l'on fait $p_1 = o$ ou ce qui revient au même $y = 2a$,

les valeurs particulières que prendront dans cette hypothèse les réactions R et R_1 ne seront autre chose que les efforts de calage qui s'exercent respectivement aux extrémités de la volée et de la culasse lorsque l'on met le pont à la serre; en les désignant par S et S_1 l'on aura donc pour ces valeurs :

$$\frac{8}{3} a\alpha^2 (a + \alpha) S_1 = 2a\alpha p \left(\frac{4}{3} a^2\alpha - \frac{\alpha^3}{3} + a^3\right) - \varepsilon (ah_1 + \alpha h). \quad . \; . \; . \; (19)$$

$$\frac{8}{3} a^2\alpha (a + \alpha) S = 2a\alpha p \left(\frac{4}{3} a^2\alpha - \frac{\alpha^3}{3} + a^3\right) - \varepsilon (ah_1 + \alpha h). \quad . \; . \; . \; (20)$$

En tenant compte des équations (19) et (20) les équations (17) et (18) pourront s'écrire sous la forme

$$\frac{8}{3} a\alpha (a + \alpha) (R_1 - S_1) = p_1 \left(-\frac{2}{3} a^4 + \frac{y^4}{24} - \frac{ay^3}{3} + \frac{2}{3} a^2 y^2\right). \quad . \; . \; . \; (21)$$

$$\frac{8}{3} a^2 (a + \alpha) (R - S) = p_1 \left(2a^4 + \frac{8}{3} a^3\alpha + \frac{y^4}{24} - \frac{ay^3}{3} - \frac{2}{3} a\alpha y^2\right). \quad . \; . \; . \; (22)$$

Un premier résultat que l'on peut en tirer c'est la valeur minima que doit avoir l'effort de calage à l'extrémité du longeron du côté de la volée. Il convient, en effet, que lors du passage de la charge sur cette travée l'extrémité de la culasse ne se soulève point, et pour que cela soit la plus petite valeur de R_1 ne peut pas devenir négative. Le minimum de R_1 s'obtient en faisant $y = o$ dans la relation (21) et il faut par suite que l'on ait

$$S_1 \begin{smallmatrix}=\\>\end{smallmatrix} 2ap_1 \frac{a^2}{8\alpha(a+\alpha)} \text{ ou bien}$$

$$S_1 \begin{smallmatrix}=\\>\end{smallmatrix} 2ap_1 \frac{a}{8(a+\alpha)}.$$

Cherchons maintenant comment varie la fatigue d'une section à l'autre de la volée pour une valeur donnée de y.

Si l'on désigne par φ_1 et φ_2 les seconds membres des équations (1) et (2), l'on aura en prenant les dérivées par rapport à x et regardant y comme constant :

$$\frac{d\varphi_1}{dx} = -(p+p_1)(2a-x)+R \quad . \; . \; . \; x > y \; . \; . \; . \quad (23)$$

$$\frac{d\varphi_2}{dx} = -p(2a-x)-p_1(2a-y)+R \quad . \; . \; . \; x < y \; . \; . \; . \quad (24)$$

Ces deux dérivées prennent la même valeur pour $y = x$ et toutes deux croissent indéfiniment avec x. L'une et l'autre sont nulles pour une seule valeur de x que nous désignerons par x_1 pour la première et par x_2 pour la seconde. Tant que x reste au-dessous de cette valeur, la dérivée est négative et par conséquent, la fonction primitive décroît quand x augmente pour commencer à croître, après que la dérivée a passé par zéro. Donc x_1 donne un minimum de φ_1 et x_2 un minimum de φ_2.

L'on a $$x_1 = 2a - \frac{R}{p+p_1} \quad . \; . \; . \; . \quad (25)$$

$$x_2 = 2a - \frac{R-p_1(2a-y)}{p} \quad . \; . \; . \; . \quad (26)$$

Ces valeurs ne sont admissibles que si l'on a respectivement :

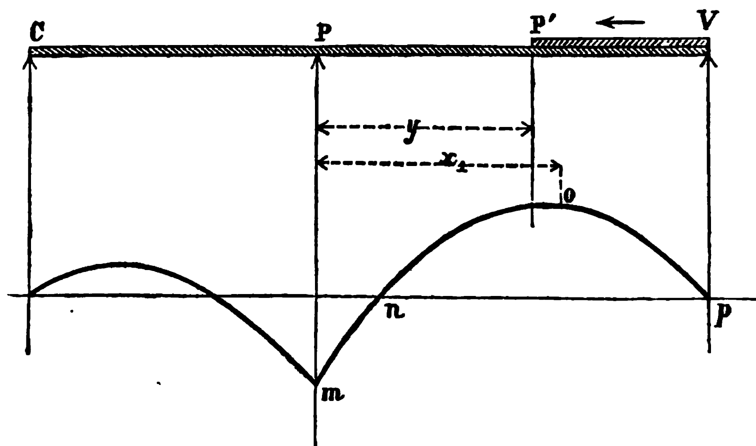
$2a > x_1 > y$ d'où $R > o$ $p\,(2a - y) > R - p_1$
$(2a - y)$. . . . (27)

$y > x_2 > o$ $R < 2ap + p_1(2a - y)$ $p(2a - y) < R - p_1$
$(2a - y)$. . . . (28)

Dans le cas où x_2 serait négatif on aurait le minimum relatif en faisant $x = o$ dans φ_2.

Remarquons que les conditions (27) et (28) s'excluent l'une l'autre, de sorte que si l'une des valeurs x_1 ou x_2 est admissible, l'autre ne l'est pas.

De là résulte que dans le cas où x_1 est admissible, si l'on fait $x = y < x_1$ les dérivées sont toutes deux négatives; dans le cas au contraire où x_2 est admissible, si l'on fait $x = y > x_2$ les dérivées sont toutes deux positives.

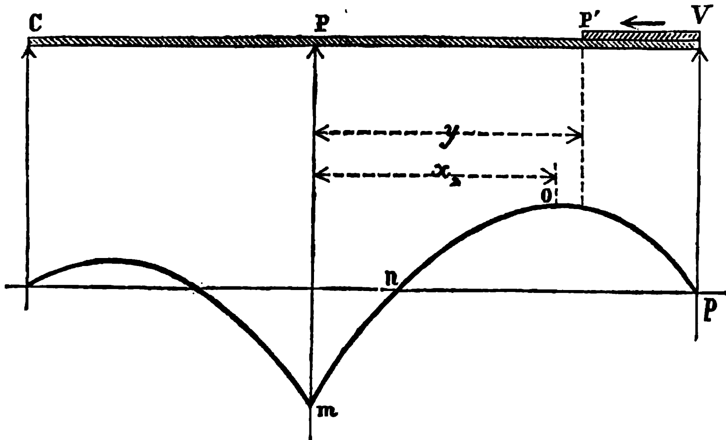


Soit donc d'abord le premier cas $y < x_1$ (Voir la figure ci-dessus dans laquelle les valeurs positives de φ_2 sont représentées par les ordonnées de la courbe *mn* prises par rapport à la droite *np* et les valeurs négatives de φ_2 par les ordonnées de la courbe *nop* prises par rapport à la même droite). Dans toute la partie *PP'* de la volée la dérivée

$\frac{d\varphi_2}{dx}$ est négative et φ_2 décroît quand x augmente ; il y a donc un maximum relatif pour $x = o$; à partir de la section où $x = y$ la fatigue est donnée par φ_1 ; et comme la dérivée reste négative, φ_1 diminue pour atteindre un minimum lorsque $x = x_1$; en désignant ce minimum par m_1 on aura en remplaçant x_1 par sa valeur dans φ_1

$$x = x_1 \quad m_1 = -\frac{R^2}{2(p+p_1)} \ . \ . \ . \ . \ (29)$$

x croissant ensuite jusqu'à $2a$, on trouve pour cette dernière valeur un maximum relatif qui n'est autre que zéro.



Soit ensuite le cas où $x_2 < y$. (Voir la figure ci-dessus.) La dérivée $\frac{d\varphi_2}{dx}$ est négative depuis $x = o$ jusqu'à $x = x_2$. Donc pour $x = o$ on a un maximum relatif, pour $x = x_2$ un minimum de φ_2 ; ensuite x continuant à croître jusqu'à y, la fatigue sera donnée par φ_1 dont la dérivée égale à celle de φ_2 sera positive et restera de même signe pour toutes les valeurs croissantes de x. Par conséquent on obtiendra

encore pour $x = 2a$ un maximum relatif qui ne sera autre que zéro.

Quant au minimum de φ_2, que nous désignerons par m_2, on le trouvera en remplaçant x par sa valeur x_2 dans l'expression (2) et l'on aura de cette manière

$$x = x_2 \quad m_2 = -\frac{[p_1(2a-y)-R]^2}{2p} - \frac{p_1(2a-y)^2}{2} \dots (30)$$

Ainsi en ne considérant que les valeurs numériques de φ_1 et φ_2 un maximum de fatigue négative sera donné suivant les cas par la formule (29) ou la formule (30). Un maximum M_2 de fatigue positive est donné dans tous les cas par la formule

$$x = o \qquad M_2 = 2a^2p + 2a^2p_1 - \frac{p_1y^2}{2} - 2aR. \dots (31)$$

Cherchons comment ces divers maximums varient avec y.

La plus grande valeur numérique de m_1 correspond à la plus grande valeur numérique de R. Or, on déduit de l'équation (22)

$$R = S + \frac{p_1}{a^2(a+\alpha)}\left\{\frac{3}{4}a^4 + a^3\alpha + \frac{y^4}{64} - \frac{ay^3}{8} - \frac{a\alpha y^2}{4}\right\}$$

d'où l'on tire

$$\frac{dR}{dy} = -\frac{p_1y}{16a^2(a+\alpha)}\left\{8a\alpha + 6ay - y^2\right\}. \dots (32)$$

Cette dérivée est essentiellement négative; R a donc sa plus grande valeur pour la plus petite valeur de y, c'est-à-dire pour $y = o$; par suite la plus grande valeur de R est

$$R' = S + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)} \dots (33)$$

Ainsi en désignant par m'_1 la plus grande valeur du maximum négatif m_1 l'on obtient:

$$m'_1 = -\frac{\left[S + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)}\right]^2}{2(p+p_1)}$$

avec les conditions

$$2a(p+p_1) > S + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)} > o. \quad . \quad . \quad . \quad (34)$$

et ce maximum se produit dans une section dont la distance au pivot est

$$x'_1 = 2a - \frac{S + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)}}{p+p_1}$$

La plus grande valeur numérique du maximum m_2 se détermine comme suit :

La dérivée de m_2 par rapport à y est

$$\frac{dm_2}{dy} = \frac{p_1(2a-y) - R}{p}\left[p_1 + \frac{dR}{dy}\right] + p_1(2a-y).$$

En y tenant compte de la valeur de x_2 donnée par l'équation (26) il vient

$$\frac{dm_2}{dy} = -(2a - x_2)\left(p_1 + \frac{dR}{dy}\right) + p_1(2a-y).$$

On déduit de l'équation (32)

$$p_1 + \frac{dR}{dy} = \frac{p_1}{16a^2(a+\alpha)}\left[16a^2(a+\alpha) - 8a\alpha y - 6ay^2 + y^3\right]$$
$$= \frac{p_1(2a-y)}{16a^2(a+\alpha)}\left[4a(2\alpha+3a) - (2a-y)^2\right]. \quad . \quad . \quad . \quad (35)$$

Substituant cette valeur dans la dérivée, elle devient

$$\frac{dm_2}{dy}=\frac{p_1(2a-y)}{16a^2(a+\alpha)}\left[16a^2(a+\alpha)-(2a-x_2)\left\{4a(2\alpha+3a)-(2a-y)^2\right\}\right]$$

Cette dérivée s'annule pour $y=2a$; pour toutes les valeurs de y moindres que $2a$, le facteur hors de la parenthèse est positif. Afin de connaître comment varie le facteur entre parenthèses désignons-le par P et dérivons le à son tour par rapport à y, nous aurons :

$$\frac{dP}{dy}=-2(2a-x_2)(2a-y)+\frac{dx_2}{dy}\left[4a(2\alpha+3a)-(2a-y)^2\right].$$

mais on a, en vertu de l'équation (26)

$$-\frac{dx_2}{dy}=\frac{\frac{dR}{dy}+p_1}{p}$$

et en ayant égard à l'équation (35)

$$\frac{dx_2}{dy}=-\frac{p_1(2a-y)}{16a^2(a+\alpha)p}\left[4a(2\alpha+3a)-(2a-y)^2\right]$$

par suite

$$\frac{dP}{dy}=-2(2a-x_2)(2a-y)-\frac{p_1(2a-y)}{16a^2(a+\alpha)p}\left[4a(2\alpha+3a)-(2a-y)^2\right]^2$$

y et x_2 étant compris entre o et $2a$, $\frac{dP}{dy}$ est une quantité essentiellement négative et par conséquent P un facteur

qui décroît constamment quand y augmente depuis zéro jusqu'à $2a$. Or, pour $y = o$ l'on a $x_2 = o$ puisque par hypothèse $x < y$, et par conséquent

$$P = 16a^2 (a + \alpha) - 2a\left[12a^2 + 8a\alpha - 4a^2\right] = o.$$

Il résulte de là que le facteur P est nul pour $y = o$ et négatif pour les valeurs de y croissantes jusque $2a$; la dérivée $\frac{dm_2}{dy}$ est donc négative pour toutes les valeurs de y comprises entre ces mêmes limites, et par conséquent on a le minimum absolu de m_2 pour $y = 2a$. C'est la valeur de y qui donne le plus grand maximum négatif, relatif à la partie $P'P$. On trouve pour ce maximum

$$m'_2 = -\frac{S^2}{2p}.$$

Il se produit dans la section distante du pivot de la quantité

$$x'_2 = 2u - \frac{S}{p}.$$

Pour trouver la plus grande valeur du maximum M_2 dérivons par rapport à y l'équation (31).

Par cette opération on obtient

$$\frac{dM_2}{dy} = -p_1 y - 2a\frac{dR}{dy},$$

et, en tenant compte de l'équation (32)

$$\frac{dM_2}{dy} = -p_1 y \frac{(2a - y)(4a - y)}{8a(a + \alpha)}.$$

Cette dérivée étant essentiellement négative, la plus grande valeur de M_1 correspond à $y = o$; on a donc

$$\begin{matrix} y = o \\ x = o \end{matrix} \quad M'_1 = 2a^2p + 2a^2p_1 \frac{a}{4(a+\alpha)} - 2aS.$$

Nous avons examiné comment change la fatigue d'une section à l'autre de la volée pour une valeur donnée de y; nous avons déterminé ainsi les sections où il y a maximum de fatigue pour une position donnée de la charge mobile et nous avons cherché ensuite pour quelle position de la surcharge ces fatigues maxima étaient les plus grandes possibles. Il reste à voir encore comment varie la fatigue dans une même section quelconque de la volée avec la position de la surcharge.

En dérivant l'équation (1) par rapport à y, x étant supposé constant, on trouve

$$\frac{d\varphi_1}{dy} = -(2a - x)\frac{dR}{dy}.$$

$\frac{dR}{dy}$ étant une quantité essentiellement négative (voir l'équation (32)), $\frac{d\varphi_1}{dy}$ est positif et φ_1 augmente, lorsque y croît. Donc si φ_1 est négatif, ou ce qui revient au même si $x > 2a - \frac{2R}{p+p_1}$, la fatigue augmente numériquement à mesure que y diminue et si φ_1 est positif, la fatigue croît avec y. L'équation (1) suppose d'ailleurs $x > y$. Par conséquent dans toute section de la partie du longeron occupée par la surcharge où la fatigue est positive, celle-ci est un maximum lorsque la charge mobile ne s'étend pas au-delà de cette section et dans toute section de la même partie de la pièce où la fatigue est négative, cette fatigue

est numériquement la plus grande quand la surcharge couvre toute la volée.

La dérivée par rapport à y de l'équation (2) est

$$\frac{d\varphi_2}{dy} = -\frac{p_1}{2}(2a + y - 2x) + \frac{p_1}{2}(2a - y) - \frac{dR}{dy}(2a - x)$$

ou bien

$$\frac{d\varphi_2}{dy} = p_1 (2a - y) - (2a - x)\left(p_1 + \frac{dR}{dy}\right).$$

On a d'ailleurs

$$p_1 + \frac{dR}{dy} = \frac{p_1 (2a - y)}{16a^2 (a + \alpha)}\left[8a (a + \alpha) + 4ay - y^2\right]$$

donc

$$\frac{d\varphi_2}{dy} = \frac{p_1 (2a - y)}{16a^2 (a + \alpha)}\Big[16a^2 (a + \alpha) - (2a - x)\Big\{8a (a + \alpha) + 4ay - y^2\Big\}\Big] = \frac{p_1 (2a - x)}{16a^2 (a + \alpha)}(2a - y)\left[y^2 - 4ay + \frac{8a (a + \alpha) x}{2a - x}\right].$$

Cette dérivée est égale à zéro pour $y = 2a$ et pour $y^2 - 4ay + \frac{8a (a + \alpha) x}{2a - x} = o.$

La dernière condition est remplie lorsque

$$y = 2a \mp \sqrt{\frac{4a (2a^2 - 3ax - 2\alpha x)}{2a - x}}.$$

Désignons les deux valeurs de y respectivement par α' et α''.

Le radical qui fait partie des valeurs de y est égal à zéro pour

$$x = 2a \frac{a}{3a + 2\alpha}.$$

Tant que $x < 2a \frac{a}{3a + 2\alpha}$ α' et α'' sont réels.

Lorsque $x > 2a \frac{a}{3a + 2\alpha}$ α' et α'' deviennent imaginaires.

Cela étant, soit

1° $x < 2a \frac{a}{3a + 2\alpha}$. Les signes de $\frac{d\varphi_2}{dy}$ seront

	$+$	o	$-$	o	$+$	o	$-$	
pour $y =$	x	α'		$2a$		α''		$+\infty$

Il suit de là que pour $y = x$ qui est la plus petite valeur de y, admissible dans l'équation (2), la fonction φ_2 croît avec y ; elle est alors algébriquement un minimum. Pour $y = \alpha'$ la dérivée passe du positif au négatif et l'on a un maximum de φ_2 ou de fatigue positive. A partir de $y = \alpha'$ la fonction φ_2 décroît pour arriver à un minimum lorsque l'on aura $y = 2a$. Si la fatigue est négative, l'on aura donc le maximum de fatigue négative pour $y = 2a$.

2° $x > 2a \frac{a}{3a + 2\alpha}$. Dans ce cas α' et α'' étant imaginaires, la dérivée $\frac{d\varphi_2}{dy}$ ne pourra changer de signe que pour $y = 2a$ et les signes de $\frac{d\varphi_2}{dy}$ seront

$$\begin{array}{lccc} & + & o & - \\ & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{pour } y = & x & 2a & +\infty \end{array}$$

Donc la dérivée est alors positive pour toutes les valeurs de y comprises entre $y = x$ et $y = 2a$. Le maximum de φ_2 ou de la fatigue positive correspond par conséquent à $y = 2a$ et le minimum à $y = x$, et si la valeur de φ_2 qui se rapporte à $y = x$ est négative, elle donnera un maximum de fatigue négative. Ainsi dans toute section de la partie du longeron non occupée par la surcharge pour laquelle $x < 2a \dfrac{a}{3a + 2\alpha}$ le maximum de fatigue négative a lieu pour $y = 2a$, le maximum de fatigue positive pour $y = 2a - \sqrt{\dfrac{4a\,(2a^2 - 3ax - 2\alpha x)}{2a - x}}$ et dans toute section de la partie du longeron non occupée par la surcharge pour laquelle $x > 2a \dfrac{a}{3a + 2\alpha}$ il y a maximum de fatigue négative pour $y = x$ et maximum de fatigue positive pour $y = 2a$.

Il va de soi qu'il n'est pas nécessaire d'avoir égard aux fatigues négatives qui se produisent quand $y = 2a$ dans les sections pour lesquelles $x < 2a \dfrac{a}{3a + 2\alpha}$, lorsque ces fatigues sont moindres que celles qui se développent dans les mêmes sections quand le pont est ouvert, c'est-à-dire si l'on a

$$S\,(2a - x) - \frac{p}{2}(2a - x)^2 < \frac{p}{2}(2a - x)^2$$

ou

$$S < p\,(2a - x).$$

Cette condition est remplie pour les sections où $x < 2a \frac{a}{3a + 2\alpha}$ dès que l'on a

$$S < 2ap - 2ap \frac{a}{3a + 2\alpha}$$ (voir l'application numérique à la fin de cet article).

Quant aux fatigues positives qui ont lieu lorsque $y = 2a - \sqrt{\frac{4a(2a^2 - 3ax - 2\alpha x)}{2a - x}}$ dans les sections pour lesquelles $x < 2a \frac{a}{3a + 2\alpha}$, on peut prouver qu'elles sont toujours inférieures ou tout au plus égales à celles qui se produisent dans les mêmes sections quand le pont est ouvert.

Écrivons à cette fin

$$\frac{p}{2}(2a - x)^2 + \frac{p_1}{2}(2a - y)(2a + y - 2x) - \left[S + \frac{p_1}{a^2(a + \alpha)}\left\{\frac{3}{4}a^4 + a^3\alpha + \frac{y^4}{64} - \frac{ay^3}{8} - \frac{a\alpha y^2}{8}\right\}\right](2a - x)$$
$$< \frac{p}{2}(2a - x)^2. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (36)$$

inégalité dans laquelle $y = 2a - \sqrt{\frac{4a(2a^2 - 3ax - 2\alpha x)}{2a - x}}$ et $x < 2a \frac{a}{3a + 2\alpha}$.

On en déduit

$$S > \frac{\frac{p_1}{2}(2a - y)(2a + y - 2x)}{2a - x} - \frac{p_1}{a^2(a + \alpha)}\left\{\frac{3}{4}a^4 + a^3\alpha + \frac{y^4}{64} - \frac{ay^3}{8} - \frac{a\alpha y^2}{4}\right\}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (37)$$

En représentant le radical $\sqrt{\dfrac{4a(2a^2 - 3ax - 2\alpha x)}{2a - x}}$ par A, cette condition peut se mettre sous la forme

$$S > p_1 A \left\{ 1 - \frac{A}{2(2a-x)} \right\} - \frac{p_1}{a^2(a+\alpha)} \left\{ \frac{3}{4} a^4 + a^3\alpha + \frac{(2a-A)^4}{64} - \frac{a(2a-A)^3}{8} - \frac{a\alpha(2a-A)^2}{4} \right\}.$$

Cherchons la section pour laquelle le second membre de cette inégalité est le plus grand possible et à cet effet dérivons le par rapport à x, A étant considéré comme une fonction de x.

La dérivée est

$$p_1 \frac{dA}{dx} \left\{ 1 - \frac{A}{2(2a-x)} \right\} - p_1 A \left\{ \frac{2(2a-x)\frac{dA}{dx} + 2A}{4(2a-x)^2} \right\} - \frac{p_1}{a^2(a+\alpha)} \left\{ -\frac{(2a-A)^3}{16}\frac{dA}{dx} + \frac{3a(2a-A)^2}{8}\frac{dA}{dx} + \frac{a\alpha(2a-A)}{2}\frac{dA}{dx} \right\}$$

ou bien

$$p_1 \frac{dA}{dx} \left\{ 1 - \frac{A}{2a-x} \right\} - \frac{p_1 A^2}{2(2a-x)^2} + p_1 \frac{dA}{dx} \left\{ \frac{12a^2A - 16a^3 - A^3 - 16a^2\alpha + 8Aa\alpha}{16a^2(a+\alpha)} \right\}.$$

Réunissant les termes qui renferment le facteur $p_1 \dfrac{dA}{dx}$, l'expression qui précède devient

$$p_1 \frac{dA}{dx} \left\{ \frac{12a^2A + 8a\alpha A - A^3}{16a^2(a+\alpha)} - \frac{A}{2a-x} \right\} - \frac{p_1 A^2}{2(2a-x)^2}$$

mais on a

$$\frac{dA}{dx} = -\frac{8a^2(a+\alpha)}{(2a-x)^2 A}$$

par suite

$$\frac{p_1 A^3 \frac{dA}{dx}}{16a^2(a+\alpha)} = -\frac{p_1 A^2}{2(2a-x)^2}.$$

Tenant compte de cette égalité, il vient pour la dérivée

$$p_1 \frac{dA}{dx} \left\{ \frac{12a^2A + 8a\alpha A}{16a^2(a+\alpha)} - \frac{A}{2a-x} \right\}$$

et si l'on remplace $\frac{dA}{dx}$ par sa valeur, elle s'exprime par

$$-\frac{2a(2a^2 - 3ax - 2\alpha x)\,p_1}{(2a-x)^3}.$$

Sous cette forme on voit que la dérivée est négative pour $x = o$ et nulle pour $x = 2a\frac{a}{3a+2\alpha}$.

Il en résulte que la fonction diminue quand x augmente à partir de zéro, qu'elle a sa plus grande valeur pour $x = o$ et qu'elle est un minimum pour $x = 2a\frac{a}{3a+2\alpha}$.

Pour que la condition (36) soit remplie, l'effort de calage ne devra donc jamais dépasser la valeur $S = 2ap_1\frac{a}{8(a+\alpha)}$ que l'on obtient en faisant $x = o$ et par suite $y = o$ dans le second nombre de l'inégalité (37) et cette valeur de S est, ainsi qu'on l'a vu plus haut, celle que l'effort de calage à l'extrémité du longeron, vers la volée, doit atteindre pour que l'extrémité de la culasse reste calée lors du passage de la charge sur la volée.

En résumé, la discussion précédente prouve que lorsque la charge uniformément répartie s'avance graduellement depuis l'extrémité de la volée jusqu'au pivot :

1° Il se produit : un maximum négatif m'_1 au moment où cette charge couvre toute la volée ; un maximum négatif m'_2 au moment où la charge mobile est enlevée sur toute la volée ; un maximum positif M'_2, lorsque la volée est entièrement couverte par la charge uniformément répartie.

2° Dans toutes les sections pour lesquelles $x > 2a \frac{a}{3a+2\alpha}$ le maximum de fatigue négative a lieu lorsque la charge mobile occupe toute la volée et le maximum de fatigue positive quand toute la charge est enlevée.

3° Dans toutes les sections pour lesquelles $x < 2a \frac{a}{3a+2\alpha}$ le maximum de fatigue négative se produit lorsque la charge est enlevée sur toute la volée et le maximum de fatigue positive lorsque la charge mobile occupe une partie de la volée telle que l'on ait

$$y = 2a - \sqrt{\frac{4a\,(2a^2 - 3ax - 2\alpha x)}{2a - x}}.$$

4° Dès que l'on a $S < 2ap - 2ap \frac{a}{3a+2\alpha}$ on n'a pas à se préoccuper des fatigues négatives qui se produisent quand la charge est enlevée sur toute la volée, dans les sections pour lesquelles $x < 2a \frac{a}{3a+2\alpha}$, parce qu'alors ces fatigues sont inférieures à celles qui se développent dans les mêmes sections lorsque le pont est ouvert.

5° L'on ne doit pas avoir égard aux fatigues positives qui ont lieu lorsque $y = 2a - \sqrt{\frac{4a\,(2a^2 - 3ax - 2\alpha x)}{2a - x}}$

dans les sections pour lesquelles $x < 2a \frac{a}{3a+2\alpha}$ parce que dès le moment que le pont est suffisamment calé pour que l'extrémité de la culasse ne se soulève pas par le passage de la charge, ces fatigues sont inférieures à celles qui se produisent dans les mêmes sections quand le pont est ouvert.

Admettant ensuite que la charge continue à s'avancer au delà du pivot sur la culasse, il est clair que la partie de cette charge qui couvre la culasse diminuera la réaction R à l'extrémité de la volée et que par conséquent, les fatigues négatives dans la volée diminueront, tandis que les fatigues positives iront en croissant et atteindront leur maximum quand la charge mobile occupera le pont tout entier.

En pratique on aura généralement $S < 2ap - 2ap \frac{a}{3a+2\alpha}$. Quand cette condition sera remplie, l'on n'aura donc qu'à considérer les fatigues négatives qui se produisent dans la partie des longerons appartenant à la volée lorsque cette travée seule est entièrement occupée par la charge mobile, les fatigues positives qui s'y développent quand la volée et la culasse sont totalement chargées et les fatigues positives qui se produisent dans la volée lorsque le pont est ouvert.

Si l'on substitue dans l'équation (1) à R la valeur R' donnée par l'équation (33), il vient

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = \left[\frac{p+p_1}{2}(2a-x) - S - \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)}\right](2a-x) \ldots (38$$

C'est l'expression de la fatigue dans une section de la volée située à la distance x du pivot, lorsque la charge uniformément répartie occupe toute cette travée.

Cette fatigue est nulle lorsque

$$x = x_s = \frac{4a^2p + a^2p_1 + 4a\alpha p - 4S(a+\alpha)}{2(p+p_1)(a+\alpha)} \ldots \ldots (39)$$

Par conséquent lorsque la charge uniformément répartie occupe entièrement la volée, la fatigue est négative dans toutes les sections de cette travée situées à une distance du pivot plus grande que x_s et positive dans les sections plus rapprochées du pivot.

x_s est nul et la fatigue devient négative dans toute l'étendue de la volée lorsque

$$S = S' = ap + \frac{a^2p_1}{4(a+\alpha)} \ldots \ldots (40)$$

Comparons les fatigues qu'éprouvent les longerons à la volée quand le pont est ouvert, à celles qu'ils subissent dans la même travée lorsque le pont est fermé et mis à la serre et chargé d'un poids uniformément réparti sur toute la volée.

Quand le pont est ouvert, on a pour une section de la volée située à une distance x du pivot

$$\frac{\iota\mu}{h'} = (2a - x)^2 \frac{p}{2} \ldots \ldots (41)$$

et lorsqu'il est fermé, la fatigue négative dans toutes les sections comprises entre l'extrémité de la volée et la section dont la distance au pivot est x_s s'exprime par

$$\frac{\iota\mu}{h'} = -(2a-x)\left[S + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)} - \frac{p+p_1}{2}(2a-x)\right] (42)$$

Pour que la première valeur de $\frac{\iota\mu}{h'}$ l'emporte numérique-

ment sur la seconde ou lui soit égale, abstraction faite du signe, il faut que

$$(2a - x)^2 \frac{p}{2} \gtreqless (2a - x) \left[S + \frac{ap_1 (3a + 4\alpha)}{4(a + \alpha)} - \frac{p + p_1}{2} (2a - x) \right] \ldots\ldots (43)$$

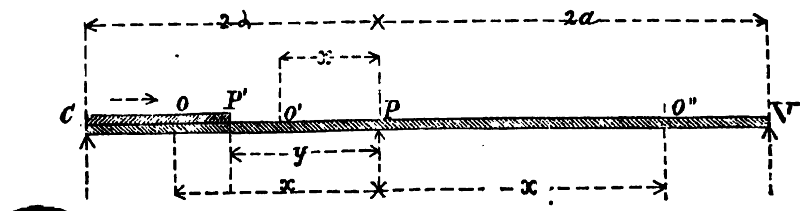
d'où l'on déduit

$$x = x_1 \lesseqgtr \frac{1}{2p + p_1} \left\{ \frac{a^2 p_1}{2(a + \alpha)} + 4ap - 2S \right\} \ldots\ldots (44)$$

Par conséquent *dans toute section de la volée comprise entre le pivot et le point où* $x = x_1$, *la fatigue sera numériquement plus petite lorsque le pont est fermé, chargé d'un poids uniformément réparti sur toute la travée et calé, que lorsqu'il est ouvert, et dans toute section située au-delà la fatigue sera numériquement la plus grande lorsque le pont est fermé.*

Il est facile de voir que le second membre de l'équation (35) diminue s'il est positif quand α augmente et qu'il croît numériquement avec α s'il est négatif; car la dérivée du terme $\frac{ap_1 (3a + 4\alpha)}{4(a + \alpha)}$ par rapport à α est toujours positive. Ce terme croît donc avec α. Ainsi, *lorsque la charge uniformément répartie occupe toute la volée, la fatigue négative croît numériquement et la fatigue positive diminue dans cette travée quand la longueur de la culasse augmente.*

B. CULASSE.



Si l'on désigne par y la longueur de la partie PP' de la culasse non occupée par la surcharge, les autres lettres conservant la même signification, l'on a pour les expressions de la fatigue :

Dans la partie CP'

$$\frac{\iota\mu}{h'}=\frac{\iota d^2f}{dx^2}=\frac{p+p_1}{2}(2\alpha-x)^2+p\,\frac{a^2-\alpha^2}{\alpha}(2\alpha-x)-R_1(2\alpha-x).\;.\;.\;.\;.\;(1)$$

avec la condition $2\alpha > x > y$.

$\frac{p\,(2\alpha-x)^2}{2}$ est le moment du poids de la partie OC par rapport à la section O située à la distance x du pivot, $\frac{p_1\,(2\alpha-x)^2}{2}$ le moment de la surcharge de la partie OC par rapport à la même section, $p\,(2\alpha-x)\,\frac{a^2-\alpha^2}{\alpha}$ le moment du contrepoids, $R_1\,(2\alpha-x)$ le moment de la réaction en C.

Dans la partie $P'P$

$$\frac{\iota\mu}{h'}=\frac{\iota d^2f}{dx^2}=\frac{p}{2}(2\alpha-x)^2+\frac{p_1}{2}(2\alpha-y)(2\alpha+y-2x)+\frac{p\,(a^2-\alpha^2)}{\alpha}(2\alpha-x)-R_1(2\alpha-x).\;.\;.\;.\;.\;(2)$$

avec la condition $x < y < 2\alpha$.

$\frac{p_1}{2}(2\alpha-y)(2\alpha+y-2x)$ est le moment de la surcharge de la partie $P'C$ par rapport à la section O' située à la distance x du pivot.

Dans la partie PV

$$\frac{\iota\mu}{h'}=\frac{\iota d^2f}{dx^2}=\frac{p}{2}(2a+x)^2-R\,(2a+x).\;.\;.\;.\;.\;(3)$$

avec la condition $2a > -x > o$.

x est supposé négatif dans cette partie.

$\frac{p}{2}(2a + x)^2$ est le moment du poids de la partie VO'' par rapport à une section O'' située dans la volée à la distance — x du pivot.

$R\,(2a + x)$ le moment de la réaction en V.

Déterminons les réactions R et R_1.

Nous aurons une première relation entre ces deux quantités en égalant les valeurs de $\frac{\varepsilon\mu}{h'}$ fournies par les équations (2) et (3) lorsqu'on y fait $x = o$. On obtient ainsi :

$$\frac{p_1}{2}(4\alpha^2 - y^2) - 2\alpha R_1 = -2aR \ldots\ldots (4)$$

Pour trouver une deuxième relation entre R et R_1, il est nécessaire de tenir compte des hauteurs des trois points d'appui du longeron et par conséquent de calculer les flèches en V et C, par l'intégration des équations (1), (2) et (3). Si l'on ordonne ces équations par rapport à x, il vient :

$$\frac{\varepsilon d^2 f}{dx^2} = x^2\frac{p + p_1}{2} - x\left[2\alpha p_1 + p\frac{\alpha^2 + a^2}{\alpha} - R_1\right] + 2\alpha^2 p_1 + 2a^2 p - 2\alpha R_1 \ldots x > y \ldots\ldots (5)$$

$$\frac{\varepsilon d^2 f}{dx^2} = x^2\frac{p}{2} - x\left[(2\alpha - y)\,p_1 + p\frac{\alpha^2 + a^2}{\alpha} - R_1\right] + 2\alpha^2 p_1 - p_1\frac{y^2}{2} + 2a^2 p - 2\alpha R_1 \ldots x < y \ldots\ldots (6)$$

$$\frac{\varepsilon d^2 f}{dx^2} = x^2\frac{p}{2} + x\left[2ap - R\right] + 2a^2 p - 2aR \ldots x < o \ldots\ldots (7)$$

L'on trouve par l'intégration, ι étant considéré comme constant

$$\frac{\iota df}{dx} = \frac{x^3}{6}(p + p_1) - \frac{x^2}{2}\left(2\alpha p_1 + p\frac{\alpha^2 + a^2}{\alpha} - R_1\right) + x\,(2\alpha^2 p_1 + 2a^2 p - 2\alpha R_1) + c \ldots\ldots (8)$$

$$\frac{\iota df}{dx} = \frac{x^3}{6}p - \frac{x^2}{2}\left[(2\alpha - y)\,p_1 + p\frac{\alpha^2 + a^2}{\alpha} - R_1\right] + x\left(2\alpha^2 p_1 - p_1\frac{y^2}{2} + 2a^2 p - 2\alpha R_1\right) + c' \ldots\ldots (9)$$

$$\frac{\iota df}{dx} = \frac{x^3}{6}p + \frac{x^2}{2}(2ap - R) + x(2a^2 p - 2aR) + c'' \ldots\ldots (10)$$

Deux constantes arbitraires c' et c'' seront déterminées en fonction de la 3me c, si l'on exprime que les équations (8) et (9) doivent donner la même valeur de $\frac{df}{dx}$ lorsque l'on y fait $x = y$, tandis que (9) et (10) doivent donner la même valeur de $\frac{df}{dx}$ pour $x = o$, ce qui donne

$$c'' = c' = c + \frac{y^3}{6}p_1 .$$

Intégrons une seconde fois en tenant compte des valeurs de c' et c'' ; nous aurons :

$$\iota f = \frac{x^4}{24}(p + p_1) - \frac{x^3}{6}\left(2\alpha p_1 + p\frac{\alpha^2 + a^2}{\alpha} - R_1\right) + \frac{x^2}{2}(2\alpha^2 p_1 + 2a^2 p - 2\alpha R_1) + x\,c + c_1 \ldots\ldots (11)$$

$$\iota f = \frac{x^4}{24}p - \frac{x^3}{6}\left[(2\alpha - y)\,p_1 + p\frac{\alpha^2 + a^2}{\alpha} - R_1\right] + \frac{x^2}{2}\left(2\alpha^2 p_1 - p_1\frac{y^2}{2} + 2a^2 p - 2\alpha R_1\right) + x\left(p_1\frac{y^3}{6} + c\right) + c_2 \ldots (12)$$

$$\epsilon f = \frac{x^4}{24}p + \frac{x^3}{6}(2ap - R) + \frac{x^2}{2}(2a^2p - 2aR) + x \left(p_1\frac{y^3}{6} + c\right) + c_3 \ldots\ldots (13)$$

Il reste à trouver cinq relations entre les constantes $RR_1\ cc_1\ c_2\ c_3$, lesquelles jointes à l'équation (4), permettront de déterminer ces six inconnues ; or, si nous désignons par h la hauteur de l'extrémité de la volée, et par h_1 celle de l'extrémité de la culasse au-dessus du pivot, nous pourrons dans les équations (12) et (13) faire $f = o$ pour $x = o$; dans (11) $f = h_1$ pour $x = 2\alpha$; dans (13) $f = h$ pour $x = -2a$; et enfin il restera à exprimer que les valeurs de f fournies par (11) et (12) doivent être égales pour $x = y$.

L'on obtient ainsi :

$$c_2 = c_3 = o \qquad c_1 = \frac{y^4}{24}p_1$$

$$\epsilon h_1 = \frac{2}{3}\alpha^2 p\ (4a^2 - \alpha^2) + p_1\left(2\alpha^4 + \frac{y^4}{24}\right) - \frac{8}{3}\alpha^3 R_1 + 2\alpha c \ldots\ldots (14)$$

$$\epsilon h = 2a^4 p - \frac{ay^3}{3}p_1 - \frac{8}{3}a^3 R - 2ac \ldots\ldots (15)$$

Les équations (4), (14), (15) serviront à trouver les constantes c, R et R_1 ; si l'on élimine c entre les deux dernières, il vient

$$\epsilon\,(ah_1 + \alpha h) = 2a\alpha p\left(\frac{4}{3}a^2\alpha - \frac{\alpha^3}{3} + a^3\right) + ap_1\left(2\alpha^4 + \frac{y^4}{24} - \frac{\alpha y^3}{3}\right) - \frac{8}{3}a\alpha\,(\alpha^2 R_1 + a^2 R) \ldots\ldots (16)$$

Les équations (4) et (16) serviront finalement à calculer R et R_1 ; elles donnent en éliminant successivement R et R_1

$$\frac{8}{3}a\alpha^2(a+\alpha)R_1 = 2a\alpha p\left(\frac{4}{3}a^2\alpha - \frac{\alpha^3}{3} + a^3\right) + ap_1\left(2\alpha^4 + \frac{8}{3}a\alpha^3 + \frac{y^4}{24} - \alpha\frac{y^3}{3} - \frac{2}{3}a\alpha y^2\right) - \iota(ah_1 + \alpha h)\ldots\ldots(17)$$

$$\frac{8}{3}a^2\alpha(a+\alpha)R = 2a\alpha p\left(\frac{4}{3}a^2\alpha - \frac{\alpha^3}{3} + a^3\right) + ap_1\left(-\frac{2}{3}\alpha^4 + \frac{y^4}{24} - \alpha\frac{y^3}{3} + \frac{2}{3}\alpha^2y^2\right) - \iota(ah_1 + \alpha h)\ldots\ldots(18)$$

Observons maintenant que si dans les équations (17) et (18) l'on fait $p_1 = o$ ou ce qui revient au même $y = 2\alpha$, les valeurs particulières que prendront dans cette hypothèse les réactions R et R_1, ne seront autre chose que les efforts de calage qui s'exercent respectivement aux extrémités de la volée et de la culasse lorsque l'on met le pont à la serre ; en les désignant par S et S_1 l'on aura donc pour ces valeurs :

$$\frac{8}{3}a\alpha^2(a+\alpha)S_1 = 2a\alpha p\left(\frac{4}{3}a^2\alpha - \frac{\alpha^3}{3} + a^3\right) - \iota(ah_1 + \alpha h)\ldots\ldots(19)$$

$$\frac{8}{3}a^2\alpha(a+\alpha)S = 2a\alpha p\left(\frac{4}{3}a^2\alpha - \frac{\alpha^3}{3} + a^3\right) - \iota(ah_1 + \alpha h)\ldots\ldots(20)$$

En tenant compte des équations (19) et (20) les équations (17) et (18) pourront s'écrire sous la forme

$$\frac{8}{3}\alpha^2(a+\alpha)(R_1 - S_1) = p_1\left(2\alpha^4 + \frac{8}{3}a\alpha^3 + \frac{y^4}{24} - \alpha\frac{y^3}{3} - \frac{2}{3}a\alpha y^2\right)\ldots\ldots(21)$$

$$\frac{8}{3}a\alpha(a+\alpha)(R - S) = p_1\left(-\frac{2}{3}\alpha^4 + \frac{y^4}{24} - \frac{\alpha y^3}{3} + \frac{2}{3}\alpha^2y^2\right)\ldots\ldots(22)$$

Un résultat que l'on peut tout d'abord en tirer, c'est la valeur que doit avoir l'effort de calage à l'extrémité du longeron du côté de la volée pour que cette extrémité ne se soulève point lors du passage de la charge sur la culasse. Il faut à cet effet que la plus petite valeur de R ne devienne pas négative. Le minimum de R s'obtenant en faisant $y=o$ dans la relation (22) il faut par suite que l'on ait

$$S \geqq 2\alpha p_1 \frac{\alpha}{a} \frac{\alpha}{8(a+\alpha)}.$$

Cette valeur de S est toujours moindre que celle qui a été trouvée page 99.

Cherchons maintenant comment varie la fatigue d'une section à l'autre de la culasse pour une valeur donnée de y.

Si l'on désigne par φ_1 et φ_2 les seconds membres des équations (1) et (2), l'on aura en prenant les dérivées par rapport à x et regardant y comme constant :

$$\frac{d\varphi_1}{dx} = -(p+p_1)(2\alpha - x) - p\frac{a^2-\alpha^2}{\alpha} + R_1 \ldots\ldots \quad x > y \ldots\ldots (23)$$

$$\frac{d\varphi_2}{dx} = -p(2\alpha - x) - p_1(2\alpha - y) - p\frac{a^2-\alpha^2}{\alpha} + R_1 \ldots \quad x < y \ldots\ldots (24)$$

Ces deux dérivées prennent la même valeur pour $y = x$ et toutes deux croissent indéfiniment avec x. L'une et l'autre sont nulles pour une seule valeur de x que nous désignerons par x_1 pour la première, et par x_2 pour la seconde. Tant que x reste au-dessous de cette valeur, la dérivée est négative, et par conséquent la fonction primitive décroît quand x augmente, pour commencer à croître après que la dérivée a passé par zéro. Donc x_1 donne un minimum de φ_1 et x_2 un minimum de φ_2.

L'on a

$$x_1 = 2\alpha - \frac{R_1 - p\dfrac{a^2-\alpha^2}{\alpha}}{p+p_1} \; . \; . \; . \; . \; . \; (25)$$

$$x_2 = 2\alpha - \frac{R_1 - p\dfrac{a^2-\alpha^2}{\alpha} - p_1(2\alpha - y)}{p} \; . \; . \; . \; . \; . \; (26)$$

Ces valeurs ne sont admissibles que si l'on a respectivement

$$2\alpha > x_1 > y \text{ d'où } R_1 - p\frac{a^2-\alpha^2}{\alpha} > o \ldots p(2\alpha - y) >$$
$$R_1 - p\frac{a^2-\alpha^2}{\alpha} - p_1(2\alpha - y) \; . \; . \; . \; . \; . \; (27)$$

$$y > x_2 > o \quad R_1 < p\frac{\alpha^2+a^2}{\alpha} + p_1(2\alpha - y) \ldots p(2\alpha - y) <$$
$$R_1 - p\frac{a^2-\alpha^2}{\alpha} - p_1(2\alpha - y) \; . \; . \; . \; . \; . \; (28)$$

Dans le cas où x_2 serait négatif on aurait le minimum relatif en faisant $x = o$ dans φ_2.

Remarquons que les conditions (27) et (28) s'excluent l'une l'autre, de sorte que si l'une des valeurs x_1 ou x_2 est admissible, l'autre ne l'est pas.

De là résulte que dans le cas où x_1 est admissible, si l'on fait $x = y < x_1$ les dérivées sont toutes deux négatives ; dans le cas au contraire ou x_2 est admissible, si l'on fait $x = y > x_2$ les dérivées sont toutes deux positives.

Soit donc d'abord le premier cas $y < x_1$. Dans toute la partie PP' de la culasse, la dérivée $\frac{d\varphi_2}{dx}$ est négative et φ_2 décroît quand x augmente ; il y a donc un maximum relatif pour $x = o$; à partir de la section où $x = y$ la fatigue

est donnée par φ_1; et comme la dérivée reste négative φ_1 diminue pour atteindre un minimum lorsque $x = x_1$; en désignant ce minimum par m_1 on aura en remplaçant x_1 par sa valeur dans φ_1

$$x = x_1 \quad m_1 = -\frac{\left[p\dfrac{a^2 - \alpha^2}{\alpha} - R_1\right]^2}{2(p + p_1)} \; \ldots\ldots \; (29)$$

x croissant ensuite jusqu'à 2α, on trouve pour cette dernière valeur un maximum relatif qui n'est autre que zéro.

Soit ensuite le cas où $x_2 < y$. La dérivée $\frac{d\varphi_2}{dx}$ est négative depuis $x = o$ jusqu'à $x = x_2$. Donc pour $x = o$ on a un maximum relatif, pour $x = x_2$ un minimum de φ_2; ensuite x continuant à croître jusqu'à y, la fatigue sera donnée par φ_1 dont la dérivée égale à celle de φ_2 sera positive et restera de même signe pour toutes les valeurs croissantes de x. Par conséquent on obtiendra encore pour $x = 2\alpha$ un maximum relatif qui ne sera autre que zéro.

Quant au minimum de φ_2, que nous désignerons par m_2, on le trouvera en remplaçant x par sa valeur x_2 dans l'expression (2) et l'on aura de cette manière

$$x = x_2 \quad m_2 = -\frac{\left[p_1(2\alpha - y) + p\dfrac{a^2 - \alpha^2}{\alpha} - R_1\right]^2}{2p} - \frac{p_1(2\alpha - y)^2}{2} \; \ldots\ldots \; (30)$$

Ainsi en ne considérant que les valeurs numériques de φ_1 et φ_2 un maximum de fatigue sera donné suivant les cas par la formule (29) ou la formule (30). Un maximum M_2 de fatigue positive est donné dans tous les cas par la formule

$$x = o \quad M_2 = 2a^2p + 2\alpha^2 p_1 - \frac{p_1 y^2}{2} - 2\alpha R_1 \ldots\ldots (31)$$

Cherchons comment ces divers maximums varient avec y.

La plus grande valeur numérique de m_1 correspond à la plus grande valeur numérique de $R_1 - \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}$, ou puisque cette dernière expression est positive (27), à la plus grande valeur de R_1 ; or, on déduit de l'équation (21)

$$R_1 = S_1 + \frac{p_1}{\alpha^2 (a + \alpha)} \left[\frac{3}{4}\alpha^4 + a\alpha^3 + \frac{y^4}{64} - \frac{\alpha y^3}{8} - \frac{a\alpha y^2}{4}\right]$$

d'où l'on tire

$$\frac{dR_1}{dy} = \frac{-p_1 y}{16\alpha^2 (a + \alpha)} [8a\alpha + 6\alpha y - y^2]. \ldots\ldots (32)$$

Cette dérivée est essentiellement négative ; R_1 a donc sa plus grande valeur pour la plus petite valeur de y, c'est-à-dire pour $y = o$; par suite la plus grande valeur de R_1 est

$$R'_1 = S_1 + \frac{\alpha p_1 (3\alpha + 4a)}{4 (a + \alpha)} \ldots\ldots (33)$$

Ainsi en désignant par m'_1 la plus grande valeur du maximum négatif m_1 l'on obtient

$$m'_1 = - \frac{\left[S_1 + \frac{\alpha p_1 (3\alpha + 4a)}{4 (a + \alpha)} - \frac{p (a^2 - \alpha^2)}{\alpha}\right]^2}{2 (p + p_1)}$$

avec les conditions

$$2\alpha (p + p_1) > S_1 + \frac{\alpha p_1 (3\alpha + 4a)}{4 (a + \alpha)} - \frac{p (a^2 - \alpha^2)}{\alpha} > o \ldots (34)$$

et ce maximum se produit dans une section dont la distance au pivot est

$$x'_2 = 2\alpha - \frac{S_1 + \frac{\alpha p_1 (3\alpha + 4a)}{4(a+\alpha)} - \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}}{p + p_1}.$$

La plus grande valeur numérique du maximum m_2 se détermine comme suit :

La dérivée de m_2 par rapport à y est

$$\frac{dm_2}{dy} = \frac{p_1(2\alpha - y) + p\frac{a^2 - \alpha^2}{\alpha} - R_1}{p}\left[p_1 + \frac{dR_1}{dy}\right] + p_1(2\alpha - y).$$

En y tenant compte de la valeur de x_2 donnée par l'équation (26) il vient

$$\frac{dm_2}{dy} = -(2\alpha - x_2)\left(p_1 + \frac{dR_1}{dy}\right) + p_1(2\alpha - y).$$

On déduit de l'équation (32)

$$p_1 + \frac{dR_1}{dy} = \frac{p_1}{16\alpha^2(a+\alpha)}[16\alpha^2(a+\alpha) - 8a\alpha y - 6\alpha y^2 + y^3] = \frac{p_1(2\alpha - y)}{16\alpha^2(a+\alpha)}[4\alpha(2a + 3\alpha) - (2\alpha - y)^2]. \ldots . (35)$$

Substituant cette valeur dans la dérivée, elle devient

$$\frac{dm_2}{dy} = \frac{p_1(2\alpha - y)}{16\alpha^2(a+\alpha)}\left[16\alpha^2(a+\alpha) - (2\alpha - x_2)\left\{4\alpha(3\alpha + 2a) - (2\alpha - y)^2\right\}\right].$$

Cette dérivée s'annule pour $y = 2\alpha$; pour toutes les valeurs de y moindres que 2α, le facteur hors de la paren-

thèse est positif. Afin de savoir comment varie le facteur entre parenthèses désignons le par P et dérivons le à son tour par rapport à y, nous aurons :

$$\frac{dP}{dy} = -2(2\alpha - x_2)(2\alpha - y) + \frac{dx_2}{dy}[4\alpha(3\alpha + 2a) - (2\alpha - y)^2].$$

Mais on a en vertu de l'équation (26)

$$-\frac{dx_2}{dy} = \frac{\frac{dR_1}{dy} + p_1}{p}$$

et en ayant égard à l'équation (35)

$$\frac{dx^2}{dy} = -\frac{p_1(2\alpha - y)}{16\alpha^2(a + \alpha)p}[4\alpha(3\alpha + 2a) - (2\alpha - y)^2]$$

par suite

$$\frac{dP}{dy} = -2(2\alpha - x_2)(2\alpha - y) - \frac{p_1(2\alpha - y)}{16\alpha^2(a + \alpha)p}[4\alpha(3\alpha + 2a) - (2\alpha - y)^2]^2$$

y et x_2 étant compris entre o et 2α, $\frac{dP}{dy}$ est une quantité essentiellement négative et par conséquent P un facteur qui décroît constamment quand y augmente depuis zéro jusqu'à 2α. Or, pour $y = o$ l'on a $x_2 = o$, puisque par hypothèse $x < y$, et, par conséquent

$$P = 16\alpha^2(a + \alpha) - 2\alpha[12\alpha^2 + 8a\alpha - 4\alpha^2] = o.$$

Il résulte de là que le facteur P est nul pour $y = o$ et négatif pour les valeurs de y croissantes jusque 2α; la dérivée $\frac{dm_2}{dy}$ est donc négative pour toutes les valeurs de y

comprises entre ces mêmes limites et par conséquent on a le minimum absolu de m_2 pour $y = 2\alpha$. C'est la valeur de y qui donne le plus grand maximum négatif relatif à la partie $P'P$. On trouve pour ce maximum

$$m'_2 = -\frac{\left[p\,\frac{a^2 - \alpha^2}{\alpha} - S_1\right]^2}{2p}$$

Il se produit dans la section distante du pivot de la quantité

$$x'_2 = 2\alpha - \frac{p\,\frac{a^2 - \alpha^2}{\alpha} - S_1}{p}.$$

Pour trouver la plus grande valeur du maximum M_2 dérivons par rapport à y l'équation (31).

Par cette opération on obtient

$$\frac{dM_2}{dy} = -p_1 y - 2\alpha\frac{dR_1}{dy},$$

et en tenant compte de l'équation (32)

$$\frac{dM_2}{dy} = -p_1 y\,\frac{(2\alpha - y)(4\alpha - y)}{8\alpha(a + \alpha)}.$$

Cette dérivée étant essentiellement négative, la plus grande valeur de M_2 correspond à $y = o$; on a donc

$$\begin{matrix} y = o \\ x = o \end{matrix} \quad M'_2 = 2a^2p + 2\alpha^2 p_1\,\frac{\alpha}{4(a + \alpha)} - 2\alpha S_1.$$

Nous avons examiné comment change la fatigue d'une section à l'autre de la culasse pour une valeur donnée de y; nous avons déterminé ainsi les sections où il y a maximum

de fatigue pour une position donnée de la charge mobile et nous avons cherché ensuite pour quelle position de la surcharge ces fatigues maxima étaient les plus grandes possibles. Il reste à voir encore comment varie la fatigue dans une même section quelconque de la culasse avec la position de la surcharge.

En dérivant l'équation (1) par rapport à y, x étant supposé constant, on trouve

$$\frac{d\varphi_1}{dy} = -(2\alpha - x)\frac{dR_1}{dy}$$

$\frac{dR_1}{dy}$ étant une quantité essentiellement négative (voir l'équation (32)), $\frac{d\varphi_1}{dy}$ est positif et φ_1 augmente lorsque y croît. Donc si φ_1 est négatif ou ce qui revient au même si $x > 2\alpha - 2\,\dfrac{R_1 - \dfrac{p\,(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}}{p + p_1}$ la fatigue augmente numériquement à mesure que y diminue et si φ_1 est positif, la fatigue croît avec y. L'équation (1) suppose d'ailleurs $x > y$. Par conséquent dans toute section de la partie du longeron occupée par la surcharge où la fatigue est positive, celle-ci est un maximum lorsque la charge mobile ne s'étend pas au-delà de cette section et dans toute section de la même partie de la pièce où la fatigue est négative, cette fatigue est numériquement la plus grande quand la surcharge couvre toute la culasse.

La dérivée par rapport à y de l'équation (2) est

$$\frac{d\varphi_2}{dy} = -\frac{p_1}{2}(2\alpha + y - 2x) + \frac{p_1}{2}(2\alpha - y) - \frac{dR_1}{dy}(2\alpha - x)$$

ou bien

$$\frac{d\varphi_2}{dy} = p_1\,(2\alpha - y) - (2\alpha - x)\left(p_1 + \frac{dR_1}{dy}\right)$$

On a d'ailleurs

$$p_1 + \frac{dR_1}{dy} = \frac{p_1(2\alpha - y)}{16\alpha^2(a+\alpha)}[8\alpha(a+\alpha) + 4\alpha y - y^2]$$

donc

$$\frac{d\varphi_2}{dy} = \frac{p_1(2\alpha - y)}{16\alpha^2(a+\alpha)}\Big[16\alpha^2(a+\alpha) - (2\alpha - x)\Big\{8\alpha(a+\alpha) + 4\alpha y - y^2\Big\}\Big] = \frac{p_1(2\alpha - x)}{16\alpha^2(a+\alpha)}(2\alpha - y)\Big[y^2 - 4\alpha y + \frac{8\alpha(a+\alpha)x}{2\alpha - x}\Big].$$

Cette dérivée est égale à zéro pour $y = 2\alpha$ et pour

$$y^2 - 4\alpha y + \frac{8\alpha(a+\alpha)x}{2\alpha - x} = o.$$

La dernière condition est remplie lorsque

$$y = 2\alpha \mp \sqrt{\frac{4\alpha(2\alpha^2 - 3\alpha x - 2ax)}{2\alpha - x}}.$$

Désignons les deux valeurs de y respectivement par α' et α''.

Le radical qui fait partie des valeurs de y est égal à zéro pour $x = 2\alpha\dfrac{\alpha}{3\alpha + 2a}$.

Tant que $x < 2\alpha\dfrac{\alpha}{3\alpha + 2a}$ α' et α'' sont réels.

Lorsque $x > 2\alpha\dfrac{\alpha}{3\alpha + 2a}$ α' et α'' deviennent imaginaires.

Cela étant, soit

1° $x < 2\alpha\dfrac{\alpha}{3\alpha + 2a}$. Les signes de $\dfrac{d\varphi_2}{dy}$ seront

	$+$	o	$-$	o	$+$	o	$-$
pour $y =$	x	α'		2α		α''	$+\infty$

Il suit de là que pour $y = x$ qui est la plus petite valeur de y admissible dans l'équation (2) la fonction φ_2 croît avec y; elle est alors algébriquement un minimum. Pour $y = \alpha'$ la dérivée passe du positif au négatif et l'on a un maximum de φ_2 ou de fatigue positive. A partir de $y = \alpha'$ la fonction φ_2 décroît pour arriver à un minimum lorsque l'on aura $y = 2\alpha$. Si la fatigue est négative, l'on aura donc le maximum de fatigue négative pour $y = 2\alpha$.

2° $x > 2\alpha \dfrac{\alpha}{3\alpha + 2a}$. Dans ce cas α' et α'' étant imaginaires la dérivée $\dfrac{d\varphi_2}{dy}$ ne pourra changer de signe que pour $y = 2\alpha$ et les signes de $\dfrac{d\varphi_2}{dy}$ seront

$$\begin{array}{lccc} & + & 0 & - \\ & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{pour } y = & x & 2\alpha & +\infty \end{array}$$

Donc la dérivée est alors positive pour toutes les valeurs de y comprises entre $y = x$ et $y = 2\alpha$. Le maximum de φ_2 ou de la fatigue positive correspond par conséquent à $y = 2\alpha$ et le minimum à $y = x$ et si la valeur de φ_2 qui se rapporte à $y = x$ est négative, elle donnera un maximum de fatigue négative. Ainsi dans toute section de la partie du longeron non occupée par la surcharge pour laquelle $x < 2\alpha \dfrac{\alpha}{3\alpha + 2a}$ le maximum de fatigue négative a lieu pour $y = 2\alpha$, le maximum de fatigue positive pour $y = 2\alpha - \sqrt{\dfrac{4\alpha\,(2\alpha^2 - 3\alpha x - 2ax)}{2\alpha - x}}$ et dans toute section de la partie du longeron non occupée par la surcharge pour laquelle $x > 2\alpha \dfrac{\alpha}{3\alpha + 2a}$ il y a maximum de fatigue négative pour $y = x$ et maximum de fatigue positive pour $y = 2\alpha$.

Il va de soi qu'il n'est pas nécessaire d'avoir égard aux fatigues négatives qui se produisent quand $y = 2\alpha$ dans les sections pour lesquelles $x < 2\alpha \frac{\alpha}{3\alpha + 2a}$, lorsque ces fatigues sont moindres que celles qui se développent dans les mêmes sections quand le pont est ouvert, c'est-à-dire si l'on a

$$S_1 (2\alpha - x) - \frac{p}{2}(2\alpha - x)^2 - \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}(2\alpha - x) < \frac{p}{2}(2\alpha - x)^2 + \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}(2\alpha - x)$$

ou

$$S_1 < p\left(\frac{2a^2}{\alpha} - x\right).$$

Cette condition est remplie pour les sections où $x < 2\alpha \frac{\alpha}{3\alpha + 2a}$ dès que l'on a

$$S_1 < 2ap\frac{a}{\alpha} - 2\alpha p \frac{\alpha}{3\alpha + 2a}.$$

ou

$$S < 2ap - 2\alpha p \frac{\alpha}{3\alpha + 2a}\frac{\alpha}{a}.$$

Quant aux fatigues positives qui ont lieu lorsque $y = 2\alpha - \sqrt{\frac{4\alpha(2\alpha^2 - 3\alpha x - 2ax)}{2\alpha - x}}$ dans les sections pour lesquelles $x < 2\alpha \frac{\alpha}{3\alpha + 2a}$, on peut prouver qu'elles sont toujours inférieures, ou tout au plus égales à celles qui se produisent dans les mêmes sections quand le pont est ouvert.

Écrivons à cette fin

$$\frac{p}{2}(2\alpha - x)^2 + \frac{p_1}{2}(2\alpha - y)(2\alpha + y - 2x) + \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}(2\alpha - x)$$
$$- \left[S_1 + \frac{p_1}{\alpha^2(a + \alpha)}\left\{\frac{3}{4}\alpha^4 + a\alpha^3 + \frac{y^4}{64} - \frac{\alpha y^3}{8} - \frac{a\alpha y^2}{8}\right\}\right]$$
$$(2\alpha - x) < \frac{p}{2}(2\alpha - x)^2 + \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}(2\alpha - x) \ldots\ldots (36)$$

inégalité dans laquelle $y = 2\alpha - \sqrt{\frac{4\alpha(2\alpha^2 - 3\alpha x - 2ax)}{2\alpha - x}}$

et $x < 2\alpha \frac{\alpha}{3\alpha + 2a}$.

On en déduit

$$S_1 > \frac{\frac{p_1}{2}(2\alpha - y)(2\alpha + y - 2x)}{2\alpha - x} - \frac{p_1}{\alpha^2(a + \alpha)}\left\{\frac{3}{4}\alpha^4 + a\alpha^3 + \frac{y^4}{64} - \frac{\alpha y^3}{8} - \frac{a\alpha y^2}{8}\right\} \ldots\ldots (37)$$

En dérivant le second membre de cette inégalité par rapport à x, y étant considéré comme une fonction de cette variable, on trouve l'expression

$$-\frac{2\alpha(2\alpha^2 - 3\alpha x - 2ax)p_1}{(2\alpha - x)^3}.$$

Sous cette forme on voit que la dérivée est négative pour $x = o$ et nulle pour $x = 2\alpha\frac{\alpha}{3\alpha + 2a}$.

Il en résulte que la fonction diminue quand x augmente à partir de zéro, qu'elle a sa plus grande valeur pour $x = o$ et qu'elle est un minimum pour $x = 2\alpha\frac{\alpha}{3\alpha + 2a}$.

Pour que la condition (36) soit remplie, l'effort de calage ne devra donc jamais dépasser la valeur $S = 2\alpha p_1 \frac{\alpha}{a}$ $\frac{\alpha}{8(a+\alpha)}$ que l'on obtient en faisant $x = o$ et par suite $y = o$ dans le second membre de l'inégalité (37) et cette valeur de S est, ainsi qu'on l'a vu plus haut, celle que l'effort de calage à l'extrémité du longeron, vers la volée, doit atteindre pour que l'extrémité de la volée reste calée lors du passage de la charge sur la culasse.

En résumé, la discussion précédente prouve que lorsque la charge uniformément répartie s'avance graduellement depuis l'extrémité de la culasse jusqu'au pivot :

1° Il se produit : un maximum négatif m'_1 au moment où cette charge couvre toute la culasse ; un maximum négatif m'_2 au moment où la charge mobile est enlevée sur toute la culasse ; un maximum positif M'_2 lorsque la culasse est entièrement couverte par la charge uniformément répartie.

2° Dans toutes les sections pour lesquelles $x > 2\alpha \frac{\alpha}{3\alpha + 2a}$ le maximum de fatigue négative a lieu lorsque la charge mobile occupe toute la culasse et le maximum de fatigue positive quand toute la charge est enlevée.

3° Dans toutes les sections pour lesquelles $x < 2\alpha \frac{\alpha}{3\alpha + 2a}$ le maximum de fatigue négative se produit lorsque la charge est enlevée sur toute la culasse, et le maximum de fatigue positive lorsque la charge mobile occupe une partie de la culasse telle que l'on ait

$$y = 2\alpha - \sqrt{\frac{4\alpha\,(2\alpha^2 - 3\alpha x - 2ax)}{2\alpha - x}}.$$

4° Dès que l'on a $S < 2ap - 2\alpha p \frac{\alpha}{3\alpha + 2a} \frac{\alpha}{a}$, on n'a pas à se préoccuper des fatigues négatives qui se produisent quand la charge est enlevée sur toute la culasse, dans les sections pour lesquelles $x < 2\alpha \frac{\alpha}{3\alpha + 2a}$, parce qu'alors ces fatigues sont inférieures à celles qui se développent dans les mêmes sections lorsque le pont est ouvert.

5° L'on ne doit pas avoir égard aux fatigues positives qui ont lieu lorsque $y = 2\alpha - \sqrt{\frac{4\alpha(2\alpha^2 - 3\alpha x - 2ax)}{2\alpha - x}}$ dans les sections pour lesquelles $x < 2\alpha \frac{\alpha}{3\alpha + 2a}$ parce que dès le moment que le pont est suffisamment calé pour que l'extrémité de la volée ne se soulève pas par le passage de la charge, ces fatigues sont inférieures à celles qui se produisent dans les mêmes sections quand le pont est ouvert.

Admettant ensuite que la charge continue à s'avancer au-delà du pivot sur la volée, il est clair que la partie de cette charge qui couvre la volée diminuera la réaction R_1 à l'extrémité de la culasse, et que par conséquent les fatigues négatives dans la culasse diminueront, tandis que les fatigues positives iront en croissant et atteindront leur maximum quand la charge mobile occupera le pont tout entier.

En pratique on aura généralement $S < 2ap - 2\alpha p \frac{\alpha}{3\alpha + 2a} \frac{\alpha}{a}$. Quand cette condition sera remplie l'on n'aura donc qu'à considérer les fatigues négatives qui se produisent dans la partie des longerons appartenant à la culasse lorsque cette travée seule est entièrement occupée par la charge mobile, les fatigues positives qui s'y développent quand la volée et la culasse sont totalement

chargées et les fatigues positives qui se produisent dans la culasse lorsque le pont est ouvert.

Si l'on substitue dans l'équation (1) à R, la valeur R_1, donnée par l'équation (33), il vient

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = \left[\frac{p+p_1}{2}(2\alpha - x) + \frac{p(a^2-\alpha^2)}{\alpha} - \frac{aS}{\alpha} - \frac{\alpha p_1(3\alpha+4a)}{4(a+\alpha)}\right](2\alpha - x) \ldots\ldots (38)$$

C'est l'expression de la fatigue dans une section de la culasse située à la distance x du pivot, lorsque la charge uniformément répartie occupe toute cette travée.

Cette fatigue est nulle lorsque

$$x = x_3 = \frac{\frac{a}{\alpha}\left[4a^2p + \frac{\alpha^3 p_1}{a} + 4a\alpha p - 4S(a+\alpha)\right]}{2(p+p_1)(a+\alpha)} \ldots\ldots (39)$$

Par conséquent, lorsque la charge uniformément répartie occupe entièrement la culasse, la fatigue est négative dans toutes les sections de cette travée situées à une distance du pivot plus grande que x_3 et positive dans les sections plus rapprochées du pivot.

x_3 est nul et par conséquent la fatigue devient négative dans toute l'étendue de la culasse lorsque

$$S = S'' = ap + \frac{\alpha^3 p_1}{4a(a+\alpha)} \ldots\ldots (40)$$

Comparons les fatigues qu'éprouvent les longerons à la culasse quand le pont est ouvert, à celles qu'ils subissent dans la même travée lorsque le pont est fermé et mis à la serre et chargé d'un poids uniformément réparti sur toute la culasse.

Quand le pont est ouvert on a pour une section de la culasse située à une distance x du pivot

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = (2\alpha - x)^2 \frac{p}{2} + \frac{a^2 - \alpha^2}{\alpha} p (2\alpha - x) \ldots\ldots (41)$$

et lorsqu'il est fermé la fatigue négative dans toutes les sections comprises entre l'extrémité de la culasse et la section dont la distance au pivot est x_3 s'exprime par

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = -(2\alpha - x)\left[\frac{aS}{\alpha} + \frac{\alpha p_1 (3\alpha + 4a)}{4(a+\alpha)} - \frac{p + p_1}{2}(2\alpha - x) - \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}\right] \ldots\ldots (42)$$

Pour que la première valeur de $\frac{\varepsilon\mu}{h'}$ l'emporte sur la seconde ou lui soit égale, abstraction faite du signe, il faut que

$$(2\alpha - x)^2 \frac{p}{2} + \frac{a^2 - \alpha^2}{\alpha} p (2\alpha - x) \geqq (2\alpha - x)\left[\frac{aS}{\alpha} + \frac{\alpha p_1 (3\alpha + 4a)}{4(a+\alpha)} - \frac{p + p_1}{2}(2\alpha - x) - \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}\right] \ldots\ldots (43)$$

d'où l'on déduit

$$x = x_4 \leqq \frac{1}{2p + p_1}\left\{\frac{\alpha^2 p_1}{2(a+\alpha)} + 4\alpha p \frac{\alpha}{a} - 2S\frac{\alpha}{a}\right\} \ldots\ldots (44)$$

Par conséquent *dans toute section de la culasse comprise entre le pivot et le point où* $x = x_4$ *la fatigue sera numériquement plus petite lorsque le pont est fermé, chargé d'un poids uniformément réparti sur toute la travée et calé que lorsqu'il est ouvert, et dans toute section située au-delà, la fatigue sera numériquement la plus grande lorsque le pont est fermé.*

Comparons encore la fatigue négative maxima de la volée

$$m'_1 = -\frac{\left[S + \frac{ap_1(3a + 4\alpha)}{4(a + \alpha)}\right]^2}{2(p + p_1)}$$

à la fatigue négative maxima de la culasse

$$m'_1 = -\frac{\left[\frac{aS}{\alpha} + \frac{\alpha p_1(3\alpha + 4a)}{4(a + \alpha)} - \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}\right]^2}{2(p + p_1)}$$

et posons à cet effet

$$S + \frac{ap_1(3a + 4\alpha)}{4(a + \alpha)} \gtreqless \frac{aS}{\alpha} + \frac{\alpha p_1(3\alpha + 4a)}{4(a + \alpha)} - \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}.$$

Ces inégalités reviennent à

$$S \lesseqgtr \frac{3}{4}\alpha p_1 + ap + \alpha p.$$

Pour les longueurs de culasse admises en pratique, la valeur $S''' = \frac{3}{4}\alpha p_1 + ap + \alpha p$ est toujours supérieure à celle $S' = ap + \frac{a^2 p_1}{4(a + \alpha)}$ donnée par l'équation (40) de la page 115 et à plus forte raison à la valeur $S'' = ap + \frac{\alpha}{a}\frac{\alpha^2 p_1}{4(a + \alpha)}$ fournie par l'équation (40) de la page 136; car si dans l'inégalité

$$ap + \frac{a^2 p_1}{4(a + \alpha)} < \frac{3}{4}\alpha p_1 + ap + \alpha p$$

on suppose $\alpha = a$ on obtient

$$ap + \frac{ap_1}{8} < \frac{3}{4}ap_1 + 2ap$$

et si l'on suppose $\alpha = \frac{1}{3} a$, il vient

$$ap + \frac{3ap_1}{16} < ap + \frac{3ap_1}{12} + \frac{ap}{3},$$

inégalités qui sont évidentes. Comme il est du reste inutile de pousser l'effort de calage jusqu'au point de rendre la fatigue négative dans toute l'étendue du pont, cet effort ne devra jamais atteindre pour chaque longeron la valeur S'. On aura donc toujours $S < \frac{3}{4}\alpha p_1 + ap + \alpha p$ et par conséquent on peut dire que *la fatigue négative maxima dans la volée est toujours plus grande numériquement que la fatigue négative maxima dans la culasse.*

2° *Poids uniformément réparti sur la totalité des deux travées.*

Les fatigues qui se produisent dans le longeron VC peuvent s'exprimer comme suit :

1° Lorsque le longeron porte une surcharge p_1 par mètre courant.

A. Dans la partie PV

$$\frac{\iota\mu}{h'} = \frac{\iota d^2 f}{dx^2} = \frac{p + p_1}{2}(2a - x)^2 - R\,(2a - x) \ldots\ldots (1)$$

avec la condition $2a > x > o$

B. Dans la partie PC.

$$\frac{\iota\mu}{h'} = \frac{\iota d^2 f}{dx^2} = \frac{p + p_1}{2}(2\alpha + x)^2 + \frac{p\,(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}(2\alpha + x) - R_1\,(2\alpha + x) \ldots\ldots (2)$$

avec la condition $2\alpha > -x > o$

2° Lorsque le longeron ne porte pas de surcharge

A. Dans la partie *PV*

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = \frac{\varepsilon d^2f}{dx^2} = \frac{p}{2}(2a - x)^2 - S(2a - x) \ldots\ldots (3)$$

avec la condition $2a > x > o$

B. Dans la partie *PC*

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = \frac{\varepsilon d^2f}{dx^2} = \frac{p}{2}(2\alpha + x)^2 + \frac{p\,(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}(2\alpha + x) - S_1(2\alpha + x) \ldots\ldots (4)$$

avec la condition $2\alpha > -x > o$.

Déterminons les réactions R et R_1

Par l'intégration des équations (1), (2), (3) et (4), et en supposant ε constant, on trouve respectivement

$$\frac{\varepsilon df}{dx} = (p + p_1)\left\{2a^2x + \frac{x^3}{6} - ax^2\right\} - R\left(2ax - \frac{x^2}{2}\right) + c \ldots\ldots (1)^1$$

$$\varepsilon f = (p + p_1)\left\{a^2x^2 + \frac{x^4}{24} - \frac{ax^3}{3}\right\} - R\left(ax^2 - \frac{x^3}{6}\right) + cx + c' \ldots\ldots (1)^2$$

$$\frac{\varepsilon df}{dx} = (p + p_1)\left\{2\alpha^2x + \frac{x^3}{6} + \alpha x^2\right\} + \frac{p\,(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}\left(2\alpha x + \frac{x^2}{2}\right) - R_1\left(2\alpha x + \frac{x^2}{2}\right) + c_1 \ldots\ldots (2)^1$$

$$\varepsilon f = (p + p_1)\left\{\alpha^2x^2 + \frac{x^4}{24} + \frac{\alpha x^3}{3}\right\} + \frac{p\,(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}\left(\alpha x^2 + \frac{x^3}{6}\right) - R_1\left(\alpha x^2 + \frac{x^3}{6}\right) + c_1x + c'_1 \ldots\ldots (2)^2$$

$$\frac{df}{dx} = p\left\{2a^2x + \frac{x^3}{6} - ax^2\right\} - S\left(2ax - \frac{x^2}{2}\right) + c_2 \ldots (3)^1$$

$$f = p\left\{a^2x^2 + \frac{x^4}{24} - \frac{ax^3}{3}\right\} - S\left(ax^2 - \frac{x^3}{6}\right) + c_2x + c'_2 \ldots\ldots (3)^2$$

$$\frac{df}{dx} = p\left\{2\alpha^2x + \frac{x^3}{6} + \alpha x^2\right\} + \frac{p\,(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}\left(2\alpha x + \frac{x^2}{2}\right) - S_1\left(2\alpha x + \frac{x^2}{2}\right) + c_3 \ldots\ldots (4)^1$$

$$f = p\left\{\alpha^2x^2 + \frac{x^4}{24} + \frac{\alpha x^3}{3}\right\} + \frac{p\,(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}\left(\alpha x^2 + \frac{x^3}{6}\right) - S_1\left(\alpha x^2 + \frac{x^3}{6}\right) + c_3x + c'_3 \ldots\ldots (4)^2$$

Si l'on fait $x = -2\alpha$ dans $(2)^2$ et $(4)^2$ les deux valeurs de f doivent être égales, on a donc

$$c'_1 = \frac{8}{3}\alpha^3 (R_1 - S_1) - 2p_1\alpha^4 + 2\alpha c_1 - 2\alpha c_3 + c'_3 \ldots (5)$$

En supposant $x = o$ dans $(1)^2$ il faut que l'on trouve $f = o$, par conséquent

$$c' = o \ldots\ldots (6)$$

La substitution de $x = o$ dans $(2)^2$ doit donner $f = o$, par suite

$$c'_1 = o \ldots\ldots (7)$$

Lorsqu'on remplace x par $2a$ dans $(1)^2$ et $(3)^2$, il faut que les deux valeurs de f soient les mêmes. On en déduit

$$2p_1 a^4 - \frac{8}{3}a^3 (R - S) + 2ac + c' = 2ac_2 + c'_2 \ldots\ldots (8)$$

Si l'on suppose $x = o$ dans $(3)^2$ on doit trouver $f = o$ et par suite

$$c'_2 = o. \ldots . (9)$$

Par la substitution de o à x dans $(1)^1$ et $(2)^1$ il faut que l'on obtienne deux valeurs égales, d'où résulte

$$c = c_1. \ldots . (10)$$

En faisant x nul dans $(3)^1$ et $(4)^1$ il faut que les résultats soient égaux, ce qui donne

$$c_2 = c_3. \ldots . (11)$$

Lorsque dans (1) et (2) on remplace x par o, les résultats doivent être les mêmes, par conséquent

$$p_1 (a^2 - \alpha^2) = aR - \alpha R_1. \ldots . (12)$$

Enfin si l'on rend x nul dans $(4)^2$ il faut que l'on trouve $f = o$, donc

$$c'_3 = o. \ldots . (13)$$

En combinant maintenant entre elles les équations (5), (7), (10) et (13) on trouve

$$\frac{4}{3}\alpha^2 (R_1 - S_1) - p_1 \alpha^3 = c_3 - c. \ldots . (14)$$

L'équation (8) donne par la substitution des valeurs de c' c_2 et c'_2 fournies par les équations (6), (9) et (11)

$$\frac{4}{3}a^2 (R - S) - p_1 a^3 = c - c_3. \ldots . (15)$$

Si l'on additionne membre à membre les équations (14) et (15) les constantes c et c_3 disparaissent, et il vient

$$\frac{4}{3}\alpha^2 (R_1 - S_1) + \frac{4}{3}a^2 (R - S) = p_1 \alpha^3 + p_1 a^3. \ldots . (16)$$

Substituant dans cette dernière équation la valeur de R en R_1 fournie par (12) et tenant compte de l'égalité $2aS = 2\alpha S_1$ on obtient enfin

$$R_1 - S_1 = \frac{p_1}{4\alpha}\left\{ 3\alpha^2 - a(a - \alpha) \right\} \ldots\ldots (17)$$

et en ayant égard à l'équation (16)

$$R - S = \frac{p_1}{4a}\left\{ 3a^2 + \alpha(a - \alpha) \right\} \ldots\ldots (18)$$

Les réactions aux extrémités de la volée et de la culasse étant déterminées, pour connaître les fatigues dans les diverses sections des deux travées, il suffit de remplacer dans (1) et (2) R et R_1 par leurs valeurs tirées de (17) et (18). On trouve par cette substitution :

$$\frac{i\mu}{h'} = (2a - x)\left[\frac{p + p_1}{2}(2a - x) - S - \frac{p_1}{4a}\left\{ 3a^2 + \alpha(a - \alpha) \right\}\right] \ldots\ldots (19)$$

pour la volée ;

$$\frac{i\mu}{h'} = (2\alpha + x)\left[\frac{p + p_1}{2}(2\alpha + x) - \frac{aS}{\alpha} - \frac{p_1}{4\alpha}\left\{ 3\alpha^2 - a(a - \alpha) \right\} + \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}\right] \ldots\ldots (20)$$

pour la culasse.

Examinons successivement ces deux équations.

A. VOLÉE.

La valeur de x qui rend nul le dernier facteur du second membre de l'équation (19) est

$$x_1 = \frac{\left\{a^2 - \alpha(a - \alpha)\right\} p_1 + 4a(ap - S)}{2a(p + p_1)} \quad \ldots\ldots (21)$$

Toute valeur de x plus petite rend ce second membre positif et toute valeur plus grande le rend négatif.

Pour que x_1 corresponde à une section située dans la volée, il faut que

$$\frac{\left\{a^2 - \alpha(a - \alpha)\right\} p_1 + 4a(ap - S)}{2a(p + p_1)} > o$$

$$\frac{\left\{a^2 - \alpha(a - \alpha)\right\} p_1 + 4a(ap - S)}{2a(p + p_1)} < 2a$$

inégalités qui reviennent respectivement à

$$S < \frac{4a^2p + (a^2 - a\alpha + \alpha^2)\, p_1}{4a}$$

$$S > \frac{(\alpha^2 - a\alpha - 3a^2)\, p_1}{4a}.$$

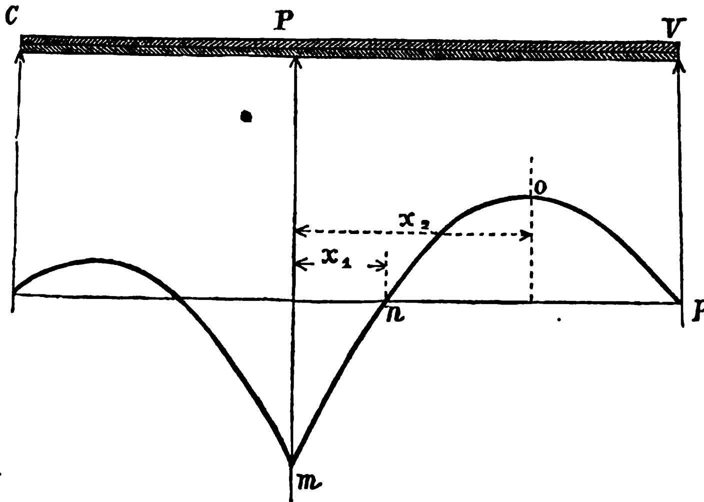
La dernière condition est toujours satisfaite dès que S est positif; par conséquent *quel que soit l'effort de calage, la fatigue est toujours négative dans une partie de la volée.*

Tant que l'effort de calage satisfait aux conditions

$$\begin{cases} S > o \\ S < \dfrac{4a^2p + (a^2 - a\alpha + \alpha^2)\, p_1}{4a} \end{cases}$$

la fatigue est négative dans la partie de la volée comprise entre son extrémité et la section située à la distance x_1 *du pivot et positive dans l'autre partie.* (Voir la figure ci-contre dans laquelle les fatigues positives sont représentées par

les ordonnées de la courbe *mn* prises par rapport à la droite *np* et les fatigues négatives par les ordonnées de la courbe *nop* prises par rapport à la même droite.)



Lorsque cet effort est tel que l'on ait

$$S > \frac{4a^2p + (a^2 - a\alpha + \alpha^2)\,p_1}{4a} \ldots\ldots (22)$$

la fatigue est négative dans toute l'étendue de la volée.

Nous verrons plus loin que si cette condition est remplie la fatigue devient aussi négative dans toute l'étendue de la culasse.

Supposons $S > o \;\; x < x_1 \;\; S < \dfrac{4a^2p + (a^2 - a\alpha + \alpha^2)\,p_1}{4a}$

Le maximum de $\frac{I\mu}{h'}$ (19) correspond à $x = o$ et il est

$$\left(\frac{I\mu}{h'}\right)_1 = 2a^2p + \left\{ a^2 - \alpha\,(a - \alpha) \right\} \frac{p_1}{2} - 2aS \ldots\ldots (23)$$

expression qui est la plus grande possible lorsque $\alpha = o$, $\alpha = a$ et qui est un minimum pour $\alpha = \frac{a}{2}$.

On peut donc dire que *dans le cas où la volée et la culasse d'un pont tournant sont chargées simultanément d'un poids uniformément distribué sur la totalité de chacune de ces travées, les fatigues positives des longerons dans les sections qui correspondent au pivot sont les moindres lorsque la longueur de la culasse est la moitié de celle de la volée, et qu'elles sont, au contraire, les plus grandes quand la volée et la culasse ont même longueur.*

Lorsque $S > o$ $x > x_1$ $\frac{\iota\mu}{h'}$ (19) est négatif et peut se mettre sous la forme

$$\frac{\iota\mu}{h'} = -(2a - x)\left[\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha)\right\} - \frac{p + p_1}{2}(2a - x) + S\right] \ldots\ldots (24)$$

La dérivée du second membre de cette équation par rapport à x est

$$\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha)\right\} - (p + p_1)(2a - x) + S.$$

En l'égalant à zéro, on en tire

$$x_2 = 2a - \frac{\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha)\right\} + S}{p + p_1} \ldots\ldots (25)$$

Substituant à x cette valeur de x_2 dans (24), il vient

$$\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)_2 = -\frac{\left[p_1\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha)\right\} + 4aS\right]^2}{32a^2(p + p_1)} \ldots\ldots (26)$$

expression qui représente, abstraction faite du signe néga-

tif, la plus grande valeur numérique que peut prendre le second membre de (24) quand on fait varier x.

Numériquement cette expression est un maximum pour $\alpha = \frac{a}{2}$ et un minimum pour $\alpha = o$ $\alpha = a$.

On peut conclure de là que *dans le cas où la volée et la culasse d'un pont tournant sont chargées simultanément d'un poids uniformément distribué sur la totalité de chacune de ces travées, la fatigue négative des longerons dans la section appartenant à la volée où cette fatigue est la plus grande a numériquement sa moindre valeur lorsque la culasse a même longueur que la volée et sa plus grande valeur lorsque la longueur de la volée est double de celle de la culasse.*

Les fatigues $\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)_1$ et $\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)_2$ deviennent numériquement égales lorsque

$$S = S_2 = 2ap\,(\sqrt{2} - 1) + 2ap_1\left(\sqrt{2} - \frac{11}{8}\right) - \frac{\alpha\,(a - \alpha)\,p_1}{4a} \quad \ldots\ldots (27)$$

C'est pour un longeron à section constante soumis à l'action d'un poids uniformément distribué sur la totalité de la volée et de la culasse et simultanément sur ces deux travées, l'effort de calage le plus avantageux à appliquer, au point de vue de la fatigue de la partie de ce longeron qui appartient à la volée.

Quand la condition (27) est remplie, alors

$$S_1 = \frac{a}{\alpha}\,2ap\,(\sqrt{2} - 1) + \frac{a}{\alpha}\,2ap_1\left(\sqrt{2} - \frac{11}{8}\right) - \frac{(a - \alpha)\,p_1}{4} \quad \ldots\ldots (28)$$

Dans ce cas $\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)_1$ et $\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)_2$ deviennent

$$\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)_2 = (6 - 4\sqrt{2})\,a^2\,(p + p_1)$$

Il est à remarquer que cette fatigue est indépendante de la longueur de la culasse.

Lorsque la fatigue positive maxima $\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_1$ est égale à la fatigue négative maxima $\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_2$ on peut poser la condition que ces fatigues soient inférieures ou tout au plus égales à la fatigue au pivot quand le pont est ouvert. Cette condition donne

$$p_1 \leqq \frac{2p(\sqrt{2}-1)}{3-2\sqrt{2}}$$

Si l'on veut que l'effort de calage soit tel que la fatigue $\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_1$ et la fatigue au pivot lorsque le pont est ouvert aient la même valeur, il faudra faire

$$S = S_2 = \frac{a^2 p_1 - \alpha(a-\alpha)p_1}{4a} \quad \ldots\ldots (29)$$

Nous avons vu précédemment que la plus grande fatigue négative qui se produit dans la partie appartenant à la volée d'un longeron de pont tournant soumis à l'action d'un poids uniformément distribué sur la volée est exprimée par

$$m'_1 = -\frac{\left[S + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)}\right]^2}{2(p+p_1)}.$$

Cette fatigue dépassant numériquement la fatigue négative maxima qui se produit dans la même partie du longeron lorsque celui-ci porte une surcharge distribuée simultanément sur la totalité des deux travées, il y a lieu d'avoir égard à cette circonstance. Si donc l'on veut déterminer l'effort de calage de manière à rendre numériquement égales les fatigues maxima qui peuvent se produire dans

la partie du longeron qui correspond à la volée il faudra poser

$$\frac{\left[S + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)}\right]^2}{2(p+p_1)} = 2a^2p + \left\{a^2 - \alpha(a-\alpha)\right\}\frac{p_1}{2} - 2aS$$

d'où l'on tire

$$S_1 = \sqrt{p+p_1}\sqrt{4a^2\left\{2p + \frac{(11a+12\alpha)p_1}{4(a+\alpha)}\right\} - \left\{3a^2+\alpha(a-\alpha)\right\}p_1} - a\left\{2p + \frac{11a+12\alpha}{4(a+\alpha)}\right\} \ldots\ldots (30)$$

C'est pour un longeron à section constante soumis successivement à l'action : 1° d'un poids uniformément réparti simultanément sur la totalité de la volée et de la culasse; 2° d'un poids uniformément distribué sur la volée seulement, l'effort de calage le plus avantageux à appliquer au point de vue de la fatigue de la partie de ce longeron qui appartient à la volée.

La condition (30) étant remplie les valeurs de $\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_1$ et de m'_1 deviennent

$$\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_1 = 2a^2(p+p_1) + 2a^2\left\{2p + \frac{(11a+12\alpha)p_1}{4(a+\alpha)}\right\} - \left\{3a^2+\alpha(a-\alpha)\right\}\frac{p_1}{2} - 2a\sqrt{p+p_1}$$

$$\sqrt{4a^2\left\{2p + \frac{(11a+12\alpha)p_1}{4(a+\alpha)}\right\} - \left\{3a^2+\alpha(a-\alpha)\right\}p_1} \ldots (31)$$

Si l'on représente le terme $2a^2\left\{2p + \frac{(11a+12\alpha)p_1}{4(a+\alpha)}\right\} - \left\{3a^2+\alpha(a-\alpha)\right\}\frac{p_1}{2}$ par c on aura

$$\left(\frac{t\mu}{h'}\right)_4 = 2a^2(p+p_1) + \sqrt{c}\left\{\sqrt{c} - 2a\sqrt{p+p_1}\sqrt{2}\right\} \dots (32)$$

Cherchons comment cette fatigue varie avec la longueur de la culasse.

A cette fin dérivons le second membre de (32) par rapport à α. En désignant $\left(\frac{t\mu}{h'}\right)_4$ par φ on trouve

$$\frac{d\varphi}{d\alpha} = \frac{dc}{d\alpha}\left\{1 - a\sqrt{\frac{2(p+p_1)}{c}}\right\}$$

on a d'ailleurs

$$\frac{dc}{d\alpha} = \frac{\alpha^2(3a+2\alpha)p_1}{2(a+\alpha)^2}.$$

La valeur de $\frac{d\varphi}{d\alpha}$ se compose de deux facteurs dont le premier est évidemment positif. Quant au second, il l'est également car $\frac{dc}{d\alpha}$ étant toujours positif c décroît constamment à mesure que α diminue ; d'où il résulte que la valeur minima du second facteur est donnée par $\alpha = o$. Cette valeur minima étant

$$1 - \sqrt{\frac{4(p+p_1)}{8p+19p_1}},$$

attendu qu'elle est encore positive, le second facteur ne peut pas devenir négatif. $\frac{d\varphi}{d\alpha}$ est donc toujours positif et la fonction φ diminuant ainsi constamment avec α elle prend sa plus petite valeur pour $\alpha = o$.

Par conséquent *pour un longeron à section constante soumis successivement à l'action : 1° d'un poids uniformément réparti simul-*

tanément sur la totalité de la volée et de la culasse; 2° d'un poids uniformément distribué sur la volée seulement et calé de la manière la plus avantageuse, les fatigues maxima qui se produisent dans la partie du longeron appartenant à la volée seront d'autant plus petites que l'on réduira davantage la longueur de la culasse.

Comparons les fatigues qu'éprouvent les longerons à la volée, quand le pont est ouvert, à celles qu'ils subissent dans la même travée lorsque le pont est fermé et mis à la serre et chargé d'un poids uniformément distribué sur la totalité de la volée et de la culasse.

Quand le pont est ouvert on a pour une section située à la distance x du pivot

$$\frac{\iota\mu}{h'} = (2a - x)^2 \frac{p}{2}$$

et lorsqu'il est fermé, la fatigue négative dans toutes les sections du longeron comprises entre son extrémité et la section qui se trouve à la distance du pivot

$$x_1 = \frac{\left\{a^2 - \alpha(a - \alpha)\right\} p_1 + 4a(ap - S)}{2a(p + p_1)}$$

(voir les équations (21) et (24)) s'exprime par

$$\frac{\iota\mu}{h'} = -(2a - x)\left[\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha)\right\} - \frac{p + p_1}{2}(2a - x) + S\right]$$

Pour que la première valeur de $\frac{\iota\mu}{h'}$ l'emporte sur la seconde, abstraction faite du signe, il faut que

$$(2a - x)^2 \frac{p}{2} > (2a - x)\left[\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha)\right\} - \frac{p + p_1}{2}(2a - x) + S\right]$$

condition qui est satisfaite quand

$$x < 2a - \frac{2\left[\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha)\right\} + S\right]}{2p + p_1} \ldots\ldots (33)$$

Il suit de là que *dans toutes les sections du longeron situées dans la volée à une distance du pivot inférieure au second membre de l'inégalité précédente, la fatigue quand le pont est ouvert sera numériquement plus grande que la fatigue négative dans les mêmes sections lorsqu'il est fermé et chargé d'un poids uniformément réparti simultanément sur la totalité de la volée et de la culasse et que dans toutes les sections plus éloignées du pivot, la fatigue négative lorsque le pont est fermé, l'emportera numériquement sur la fatigue qui se produira dans les mêmes sections quand le pont est ouvert.*

Il est facile de s'assurer que le second membre de l'inégalité (33) l'emporte constamment sur la valeur de x_1 donnée par l'équation (21) et qui détermine la position de la section de longeron où la fatigue est nulle, car la valeur de x_1 peut se mettre sous la forme

$$x_1 = 2a - \frac{2\left[\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha) + S\right]\right.}{p + p_1}.$$

Ce second membre est au contraire toujours inférieur à la valeur de x_2 fournie par l'équation (25) et qui fixe la position de la section du longeron où la fatigue négative est un maximum.

Lorsque le pont est fermé la fatigue positive dans toutes les sections du longeron comprises entre le pivot et le point qui s'en trouve à la distance

$$x_1 = \frac{\left\{a^2 - \alpha(a - \alpha)\right\}p_1 + 4a(ap - S)}{2a(p + p_1)}$$

s'exprime par

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = (2a - x)\left[\frac{p + p_1}{2}(2a - x) - \frac{p_1}{4a}\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha)\right\} - S\right].$$

Pour que cette fatigue soit supérieure à celle qui se produit, le pont étant ouvert, dans une section située à la distance x du pivot, il faut que

$$(2a - x)^2 \frac{p}{2} < (2a - x)\left[\frac{p + p_1}{2}(2a - x) - \frac{p_1}{4a}\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha)\right\} - S\right]$$

d'où l'on tire

$$x < 2a - \frac{2\left[\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha)\right\} + S\right]}{p_1} \quad \ldots\ldots (34)$$

De là résulte que *dans toutes les sections du longeron situées dans la volée à une distance du pivot inférieure au second membre de l'inégalité qui précède, la fatigue positive quand le pont est fermé et chargé d'un poids uniformément réparti simultanément sur la totalité de la volée et de la culasse, sera plus grande que lorsqu'il est ouvert, et que dans toutes les sections plus éloignées du pivot la fatigue positive quand le pont est fermé sera inférieure à celle qui, le pont étant ouvert, se produira dans les mêmes sections.*

On peut s'assurer que la valeur de x_1 qui détermine la position de la section du longeron où la fatigue est nulle et le second membre de l'inégalité (33) sont toujours plus grands que le second membre de l'inégalité (34).

Les sections du longeron peuvent être variables. Si dans ce cas on suppose le pont chargé successivement : 1° d'un poids uniformément distribué sur la totalité de la volée; 2° d'un poids uniformément réparti sur la totalité de la

volée et de la culasse et que les sections du longeron sont déterminées de manière que pour toutes l'allongement des fibres les plus éloignées de l'axe neutre soit le même et que les surfaces des diverses sections soient proportionnelles au maximum du moment des forces extérieures pris par rapport à ces sections, le poids de la partie du longeron qui appartient à la volée sera proportionnel à l'expression suivante :

$$\int_{x=\frac{1}{2p+p_1}\left\{\frac{a^2p_1}{2(a+\alpha)}+4ap-2S\right\}}^{x=2a}(2a-x)\left[S+\frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)}-\frac{p+p_1}{2}(2a-x)\right]dx+$$

$$+\int_{x=2a-\frac{2\left[S+\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2+\alpha(a-\alpha)\right\}\right]}{p_1}}^{x=\frac{1}{2p+p_1}\left\{\frac{a^2p_1}{2(a+\alpha)}+4ap-2S\right\}}(2a-x)^2\frac{p}{2}dx+$$

$$+\int_{x=0}^{x=2a-\frac{2\left[S+\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2+\alpha(a-\alpha)\right\}\right]}{p_1}}(2a-x)\left[(2a-x)\frac{p+p_1}{2}-S-\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2+\alpha(a-\alpha)\right\}\right]dx$$

dans laquelle le coefficient de dx qui se trouve sous chacun des signes d'intégration est le maximum du moment des forces extérieures pris par rapport à la section située à la distance x du pivot et les limites des intégrales sont les distances au pivot qui fixent la position des sections entre lesquelles les fatigues maxima représentées par le coefficient de dx sont applicables.

Cette expression suppose pour le longeron à section variable les mêmes réactions aux extrémités de la volée et de la culasse que pour le longeron à section constante, hypothèse admise par tous les ingénieurs pour déterminer la forme d'égale résistance des poutres à plusieurs travées.

Les intégrations étant effectuées, la somme des trois intégrales peut s'exprimer par

$$S^3 + AS^2 + BS + C,$$

A, B et C étant des quantités indépendantes de S.

En égalant à zéro la dérivée par rapport à S on trouve l'équation.

$$3S^2 + 2AS + B = o,$$

que l'on peut facilement résoudre par rapport à S (voir l'application numérique à la fin de cet article, § 7). *La valeur positive de S qui y satisfait représente pour un longeron dont la section est variable, comme il est dit plus haut, l'effort de calage qui, eu égard à la fatigue dans toutes les sections, permet de donner le minimum de poids à la partie du longeron qui appartient à la volée.*

B. CULASSE.

Passons à l'examen de l'équation (20)

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = (2\alpha + x)\left[\frac{p + p_1}{2}(2\alpha + x) - \frac{aS}{\alpha} - \frac{p_1}{4\alpha}\right\}3\alpha^2 - a(a - \alpha)\Big\} + \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}\right]$$

et remarquons d'abord que pour l'établir on a supposé x, qui représente la distance d'une section quelconque du longeron au pivot, négatif dans la culasse. Si donc on remplace dans (20) x par $-x$ on obtiendra la nouvelle équation

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = (2\alpha - x)\left[\frac{p+p_1}{2}(2\alpha - x) - \frac{aS}{\alpha} - \frac{p_1}{4\alpha}\left\{3\alpha^2 - a(a-\alpha)\right\} + \frac{p(a^2-\alpha^2)}{\alpha}\right] \ldots\ldots (35)$$

dans laquelle la distance d'une section de la culasse au pivot pourra être considérée comme positive.

Nous adopterons cette nouvelle équation dans la discussion qui va suivre.

La valeur de x qui rend nul le dernier facteur du second membre de (35) est

$$x_1 = 2\alpha - \frac{\frac{p_1}{4\alpha}\left\{3\alpha^2 - a(a-\alpha)\right\} + \frac{aS}{\alpha} - \frac{p(a^2-\alpha^2)}{\alpha}}{\frac{1}{2}(p+p_1)} \ldots (36)$$

Elle est plus grande que 2α lorsque

$$S < \frac{4p(a^2-\alpha^2) + a^2p_1 - \alpha(3\alpha+a)p_1}{4a} \ldots\ldots (37)$$

ou bien

$$\alpha < -\frac{ap_1}{2(4p+3p_1)} + \sqrt{\frac{4a^2p + a^2p_1 - 4aS}{4p+3p_1} + \frac{(ap_1)^2}{4(4p+3p_1)^2}} \ldots\ldots (38)$$

inégalités qui reviennent à la suivante

$$\frac{p(a^2-\alpha^2)}{\alpha} > \frac{p_1}{4\alpha}\left\{3\alpha^2 - a(a-\alpha)\right\} + S_1$$

laquelle exprime (voir (17)) que le contrepoids est plus grand que la réaction qui s'exerce à l'extrémité de la culasse. Dans ce cas la culasse présente partout la forme d'une courbe dont la convexité est tournée vers le haut.

Lorsque la relation (37) ou ce qui revient au même la relation (38) existe, le maximum du second membre de l'équation (35) a lieu pour $x = o$. Ce maximum est

$$\left(\frac{\epsilon\mu}{h'}\right)_1 = 2a^2p + \left\{ a^2 - \alpha (a - \alpha) \right\} \frac{p_1}{2} - 2aS \, . \, . \, . \, . \, (39)$$

Dans l'hypothèse qui nous occupe, sa valeur est la plus grande possible pour $\alpha = o$ et cette plus grande valeur est

$$\left(\frac{\epsilon\mu}{h'}\right)'_1 = 2a^2p + \frac{a^2p_1}{2} - 2aS \, . \, . \, . \, . \, (40)$$

$\left(\frac{\epsilon\mu}{h'}\right)'_1$ est donc la limite vers laquelle converge $\left(\frac{\epsilon\mu}{h'}\right)_1$ lorsque la longueur de la culasse décroît indéfiniment.

Pour $\alpha = \frac{a}{2}$, $\left(\frac{\epsilon\mu}{h'}\right)_1$ est un minimum et devient

$$\left(\frac{\epsilon\mu}{h'}\right)''_1 = 2a^2p + \frac{3}{8}a^2p_1 - 2aS \dots \, . \, . \, . \, (41)$$

mais il est à observer que cette valeur n'est admissible en présence de l'inégalité (37) ou (38) que pour autant que

$$\frac{a}{2} < \frac{-ap_1}{2(4p+3p_1)} + \sqrt{\frac{4a^2p + a^2p_1 - 4aS}{4p+3p_1} + \frac{(ap_1)^2}{4(4p+3p_1)^2}} \, . \, . \, . \, . \, . \, (42)$$

$$S < \frac{3}{4}ap - \frac{ap_1}{16} \, . \, . \, . \, . \, . \, (43)$$

Supposons maintenant $x_1 < 2\alpha$, condition qui peut se mettre sous l'une des deux formes

$$S > \frac{4p(a^2 - \alpha^2) + a^2 p_1 - \alpha(3\alpha + a)p_1}{4a} \ldots\ldots (44)$$

$$\alpha > \frac{-ap_1}{2(4p + 3p_1)} + \sqrt{\frac{4a^2p + a^2p_1 - 4aS}{4p + 3p_1} + \frac{(ap_1)^2}{4(4p + 3p_1)^2}} \ldots\ldots (45)$$

la fatigue sera nécessairement négative pour les sections de la culasse voisines de son extrémité.

Elle sera positive pour des sections comprises dans cette travée si l'on a

$$x_1 > 0$$

ou

$$S < \frac{4a^2p + \left\{ \alpha^2 + a(a - \alpha) \right\} p_1}{4a} \ldots\ldots (46)$$

Si donc

$$S > \frac{4p(a^2 - \alpha^2) + a^2p_1 - \alpha(3\alpha + a)p_1}{4a}$$

$$S < \frac{4a^2p + \left\{ \alpha^2 + a(a - \alpha) \right\} p_1}{4a}$$

la fatigue sera négative dans une partie de la culasse, positive dans l'autre.

Enfin, la fatigue sera constamment négative dans toutes les sections de la culasse lorsque

$$S > \frac{4a^2p + \left\{ \alpha^2 + a(a - \alpha) \right\} p_1}{4a} \ldots\ldots (47)$$

En pratique cette condition ne peut se réaliser que si

$$p_1 < \frac{4a\alpha p}{a^2 + \alpha^2 - a\alpha}.$$

Dans le cas contraire on aurait $S > (a + \alpha)\, p$ et l'on soulèverait le pont par le calage.

Dans l'hypothèse $\frac{\varepsilon\mu}{h'}$ (35) négatif, c'est-à-dire $x_1 < 2\alpha$ $x > x_1$ l'équation (35) peut se mettre sous la forme

$$\frac{\varepsilon\mu}{h'} = -(2\alpha - x)\left[\frac{aS}{\alpha} + \frac{p_1}{4\alpha}\left\{3\alpha^2 - a(a - \alpha)\right\} - \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha} - \frac{p + p_1}{2}(2\alpha - x)\right] \ldots\ldots (48)$$

le dernier facteur du second membre étant positif.

La dérivée du second membre par rapport à x est

$$\frac{aS}{\alpha} + \frac{p_1}{4\alpha}\left\{3\alpha^2 - a(a - \alpha)\right\} - \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha} - (p + p_1)(2\alpha - x).$$

Pour $x = 2\alpha$ cette dérivée est positive, la fonction $\frac{\varepsilon\mu}{h'}$ diminue donc lorsque x diminue à partir de 2α et comme elle est négative la valeur de x tirée de la dérivée égalée à zéro correspondra à un maximum négatif de $\frac{\varepsilon\mu}{h'}$.

Cette valeur de x est

$$x_2 = 2\alpha - \frac{\frac{p_1}{4\alpha}\left\{3\alpha^2 - a(a - \alpha)\right\} + \frac{aS}{\alpha} - \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}}{p + p_1} \ldots (49)$$

ou

$$x_2 = 2\alpha - \frac{\alpha\left(\frac{3}{4}p_1 + p\right) - \frac{1}{\alpha}\left(a^2p + \frac{a^2p_1}{4} - aS\right) + \frac{ap_1}{4}}{p + p_1} \dots (50)$$

En la substituant dans $\frac{i\mu}{h'}$ (48) on trouve

$$\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_2 = -\frac{\left[p_1\left\{3\alpha^2 - a(a-\alpha)\right\} + 4aS - 4p(a^2 - \alpha^2)\right]^2}{32\alpha^2(p + p_1)} (51)$$

ou bien

$$\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_2 = -\frac{\left[\alpha\left(\frac{3}{4}p_1 + p\right) - \frac{1}{\alpha}\left(a^2p + \frac{a^2p_1}{4} - aS\right) + \frac{ap_1}{4}\right]^2}{2(p + p_1)} (52)$$

Cherchons quelles sont les valeurs de α qui rendent $\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_2$ numériquement un maximum ou un minimum.

A cet effet remarquons qu'en vertu de la relation (44) on a

$$\alpha\left(\frac{3}{4}p_1 + p\right) - \frac{1}{\alpha}\left(a^2p + \frac{a^2p_1}{4} - aS\right) + \frac{ap_1}{4} > o$$

et supposons en premier lieu

$$a^2p + \frac{a^2p_1}{4} - aS > o \qquad \text{ou } S < ap + \frac{ap_1}{4}.$$

Dans ce cas la plus grande valeur numérique du second membre de l'équation (52) est donnée par $\alpha = a$. Par la substitution de a à α la fatigue $\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_2$ ainsi que x_2 deviennent

$$\left(\frac{t\mu}{h'}\right)^2_2 = -\frac{\left(\frac{3}{4}ap_1 + S\right)^2}{2(p+p_1)}$$

$$x'_2 = -2a - \frac{\frac{3}{4}ap_1 + S}{p+p_1}.$$

Dans le même cas la plus petite valeur numérique du second membre de l'équation (52) correspond à la valeur de α qui le rend nul. Celle-ci est

$$\alpha_1 = -\frac{ap_1}{2(4p+3p_1)} + \sqrt{\frac{4a^2p + a^2p_1 - 4aS}{4p+3p_1} + \frac{(ap_1)^2}{4(4p+3p_1)^2}} \ldots\ldots (53)$$

Cette valeur de α_1 n'est positive que pour autant que l'on ait

$$S < ap + \frac{ap_1}{4} \ldots\ldots (54)$$

Elle rend égales à 2α les valeurs de x_1 et de x_2 déterminées par les équations (36) et (49) et elle est nulle lorsque $S = ap + \frac{ap_1}{4}$.

Supposons en second lieu

$$a^2p + \frac{a^2p_1}{4} - aS < o \ldots\ldots (54)$$

condition qui s'exprime encore par l'une ou l'autre des deux inégalités

$$S > ap + \frac{ap_1}{4} \ldots\ldots (55)$$

$$\alpha > \frac{-ap_1}{2(4p+3p_1)} + \sqrt{\frac{4a^2p+a^2p_1-4aS}{4p+3p_1} + \frac{(ap_1)^2}{4(4p+3p_1)^2}} \ldots\ldots (56)$$

La fatigue devenant partout négative dans la partie du longeron qui appartient à la culasse dès que

$$S > \frac{4a^2p + \left\{\alpha^2 + a(a-\alpha)\right\}p_1}{4a}$$

(voir (47)), à plus forte raison dans le cas qui nous occupe, elle sera partout négative dans cette travée.

Lorsque l'une des deux conditions (55) ou (56) est satisfaite, la plus petite valeur numérique du second membre de l'équation (52) correspond à la valeur de

$$\alpha = \alpha_2 = \sqrt{\frac{4aS-4a^2p-a^2p_1}{4p+3p_1}} \ldots\ldots (57)$$

tirée de l'équation

$$\frac{3}{4}p_1 + p + \frac{1}{\alpha^2}\left(a^2p + \frac{a^2p_1}{4} - aS\right) = o$$

que l'on obtient en égalant à zéro la dérivée du second membre de (52).

Pour s'assurer de l'existence de ce minimum il suffit de substituer successivement à α dans $\left(\frac{s\mu}{h'}\right)_2$ les quantités

$$\sqrt{\frac{4aS-4a^2p-a^2p_1}{4p+3p_1}} \text{ et } \sqrt{\frac{4aS-4a^2p-a^2p_1}{4p+3p_1}} + A$$

ce qui donne respectivement les résultats suivants :

$$\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)''_2 = -\frac{\left[\sqrt{(4aS-4a^2p-a^2p_1)(4p+3p_1)}+ap_1\right]^2}{32\,(p+p_1)} \quad \ldots (58)$$

$$\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)_A = -\frac{\left[2\sqrt{(4aS-4a^2p-a^2p_1)(4p+3p_1)}+A\,(4p+3p_1)-\dfrac{A\,(4p+3p_1)\sqrt{(4aS-4a^2p-a^2p_1)\,(4p+3p_1)}}{A\,(4p+3p_1)+\sqrt{(4aS-4a^2p-a^2p_1)\,(4p+3p_1)}}+ap_1\right]^2}{32\,(p+p_1)}$$

par lesquels on voit que dès que la quantité A n'est pas nulle, qu'elle soit positive ou négative, on peut toujours la prendre numériquement assez petite pour que $\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)_A$ l'emporte numériquement sur $\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)''_2$.

La condition nécessaire pour que la fatigue $\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)''_2$ se rapporte à une section comprise dans la culasse est

$$x''_2 > o$$

x''_2 étant l'abscisse de la section où se produit la fatigue $\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)''_2$.

Comme

$$x''_2 = 2\sqrt{\frac{4aS-4a^2p-a^2p_1}{4p+3p_1}} - \frac{2\sqrt{(4p+3p_1)\,(4aS-4a^2p-a^2p_1)}+ap_1}{4\,(p+p_1)}$$

valeur que l'on obtient en remplaçant α par sa valeur α_2 dans (50), cette condition se réduit à

$$\frac{2\sqrt{(4p+3p_1)(4aS-4a^2p-a^2p_1)}+ap_1}{4(p+p_1)} < 2\sqrt{\frac{4aS-4a^2p-a^2p_1}{4p+3p_1}}$$

ou

$$S > \frac{5}{4}ap + \frac{7}{16}ap_1$$

par conséquent en vertu de l'égalité (57) on doit avoir

$$\alpha_1 > \frac{a}{2}.$$

On trouve d'ailleurs $\alpha_1 = \frac{a}{2}$ en faisant $S = \frac{5}{4}ap + \frac{7}{16}ap_1$ dans l'équation (57).

Les quantités

$$\frac{a}{2} \text{ et } \frac{5}{4}ap + \frac{7}{16}ap_1$$

sont donc les plus petites valeurs de α_1 et de l'effort de calage compatibles avec l'existence de la fatigue déterminée par l'équation (58). Elles donnent un minimum numérique de $\left(\frac{\epsilon\mu}{h'}\right)''_1$ lequel est

$$\left(\frac{\epsilon\mu}{h'}\right)'''_1 = -\frac{a^2(p+p_1)}{2}.$$

Dans l'hypothèse que l'une des deux conditions (55) ou (56) est remplie, la plus grande valeur numérique du second membre de l'équation (52) a pour limite l'infini, laquelle limite correspond à $\alpha = o$. Le second membre de

l'inégalité (56) devient négatif dans cette hypothèse et l'inégalité est satisfaite dès que α est plus grand ou égal à zéro.

Nous ferons observer ici que l'équation (51) ou (52) ne serait plus admissible si l'on avait

$$x_2 > 2\alpha$$

d'où l'on déduit

$$S < \frac{4p\,(a^2 - \alpha^2) + a^2 p_1 - \alpha\,(3\alpha + a)\,p_1}{4a};$$

$$x_2 < o$$

qui revient à

$$S > \frac{\alpha^2 p + \frac{5}{4}\alpha^2 p_1 + a^2 p + \frac{a^2 p_1}{4} - \frac{a\alpha p_1}{4}}{a}$$

la dernière condition ne peut jamais se réaliser sans soulever le pont par le calage.

Comme dans la pratique il ne peut y avoir aucun avantage à pousser l'effort de calage jusqu'à la valeur $S = ap + \frac{ap_1}{4}$ pour laquelle la fatigue est négative dans toute l'étendue de la volée et de la culasse (voir (22) et (47)), on peut dire, en vertu de ce qui précède, que *dans le cas où la volée et la culasse d'un pont tournant sont chargées simultanément d'un poids uniformément distribué sur la totalité de chacune de ces travées, la fatigue négative des longerons dans la section appartenant à la culasse où cette fatigue est numériquement un maximum, a sa plus grande valeur numérique lorsque la longueur de la culasse est égale à celle de la volée.*

Dans la supposition $x_1 < 2\alpha$ $x_1 > o$ conditions qui s'expriment encore par les inégalités suivantes :

$$S > \frac{4p(a^2 - \alpha^2) + a^2 p_1 - \alpha p_1 (3\alpha + a)}{4a}$$

$$S < \frac{4a^2 p + \left\{ \alpha^2 + a(a - \alpha) \right\} p_1}{4a}$$

(voir (44) et (46)), la fatigue est positive dans toutes les sections de la culasse pour lesquelles

$$x < x_1 = 2\alpha - \frac{\frac{p_1}{4\alpha}\left\{ 3\alpha^2 - a(a - \alpha) \right\} + \frac{aS}{\alpha} - \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}}{\frac{1}{2}(p + p_1)}$$

(voir (36)).

Cette fatigue est donnée par la formule

$$\frac{\iota\mu}{h'} = (2_x - x)\left[\frac{p + p_1}{2}(2\alpha - x) - \frac{aS}{\alpha} - \frac{p_1}{4\alpha}\right.$$
$$\left.\left\{ 3\alpha^2 - a(a - \alpha) \right\} + \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha}\right]$$

Le maximum du second membre de cette équation ayant lieu pour $x = o$, si l'on remplace x par cette quantité il vient

$$\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)_o = 2a^2 p + \left\{ a^2 - \alpha(a - \alpha) \right\} \frac{p_1}{2} - 2aS \ldots\ldots (59)$$

quantité qui est la plus grande possible pour $\alpha = a$ et qui est un minimum pour $\alpha = \frac{a}{2}$.

La plus grande valeur de $\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)_o$ est donc

$$\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)'_o = 2a^2 p + \frac{a^2 p_1}{2} - 2aS$$

et la plus petite

$$\left(\frac{i\mu}{h'}\right)''_3 = 2a^2p + \frac{3}{8}a^2p_1 - 2aS.$$

Les fatigues $\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_2$ et $\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_3$ deviennent numériquement égales lorsque

$$S = S_2 = \frac{2\alpha^2 p}{a}(\sqrt{2} - 1) + \frac{2\alpha^2 p_1}{a}\left(\sqrt{2} - \frac{11}{8}\right) + \frac{p_1}{4}(a - \alpha) + \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha} \dots\dots (60)$$

C'est pour un longeron à section constante soumis à l'action d'un poids uniformément distribué sur la totalité de la volée et de la culasse et simultanément sur ces deux travées l'effort de calage le plus avantageux à appliquer à l'extrémité de la volée au point de vue de la fatigue de la partie de ce longeron qui appartient à la culasse.

Cet effort est supérieur à celui déterminé par l'équation (27) car si l'on pose l'inégalité

$$\frac{2\alpha^2 p}{a}(\sqrt{2} - 1) + \frac{2\alpha^2 p_1}{a}\left(\sqrt{2} - \frac{11}{8}\right) + \frac{p_1}{4}(a - \alpha) + \frac{p(a^2 - \alpha^2)}{\alpha} > 2ap(\sqrt{2} - 1) + 2ap_1\left(\sqrt{2} - \frac{11}{8}\right) - \frac{\alpha p_1(a - \alpha)}{4a}$$

on en déduit

$$(\sqrt{2} - 1)\left\{2a^2p - 2\alpha^2 p\right\} + \left(\sqrt{2} - \frac{11}{8}\right)\left\{2a^2p_1 - 2\alpha^2 p_1\right\} < \frac{2a^2p - 2\alpha^2 p}{2} + \frac{2a^2p_1 - 2\alpha^2 p_1}{8},$$

inégalité qui est évidente.

Quand la condition (60) est remplie $\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_2$ et $\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_3$ deviennent

$$\left(\frac{i\mu}{h'}\right)_4 = \alpha^2 (p + p_1)(6 - 4\sqrt{2}).$$

Il est à remarquer que cette fatigue est indépendante de la longueur de la volée.

Si l'on compare les fatigues qu'éprouvent les longerons à la culasse quand le pont est ouvert, à celles qu'ils subissent dans la même travée lorsque le pont est fermé et mis à la serre et chargé d'un poids uniformément distribué sur la totalité de la volée et de la culasse et si l'on fait à cet effet les mêmes calculs que ceux indiqués précédemment pour la partie des longerons qui appartient à la volée, on trouve :

1° Que *dans toutes les sections du longeron situées dans la culasse à une distance* x_3 *du pivot inférieure à*

$$2\alpha - \frac{2\left[\frac{p_1}{4\alpha}\left\{3\alpha^2 - a(a-\alpha)\right\} + \frac{aS}{\alpha} - \frac{2p(a^2-\alpha^2)}{\alpha}\right]}{2p + p_1}$$

la fatigue, quand le pont est ouvert, sera plus grande numériquement que la fatigue négative dans les mêmes sections lorsqu'il est fermé et chargé d'un poids uniformément réparti simultanément sur la totalité de la volée et de la culasse, et que, dans toutes les sections plus éloignées du pivot, la fatigue négative, lorsque le pont est fermé, l'emportera numériquement sur la fatigue qui se produira dans les mêmes sections quand le pont est ouvert.

2° Que *dans toutes les sections du longeron situées dans la culasse à une distance* x_4 *du pivot inférieure à*

$$2\alpha - \frac{2\left[\frac{p_1}{4\alpha}\left\{3\alpha^2 - a(a-\alpha)\right\} + \frac{aS}{\alpha} - \frac{2p(a^2-\alpha^2)}{\alpha}\right]}{p_1}$$

la fatigue positive, quand le pont est fermé et chargé d'un poids uniformément réparti simultanément sur la totalité de la volée et de la culasse, sera plus grande que lorsqu'il est ouvert et que dans toutes les sections plus éloignées du pivot la fatigue positive quand le pont est fermé sera inférieure à celle qui, le pont étant ouvert, se produira dans les mêmes sections.

Comparons encore les fatigues qu'éprouvent les sections des longerons situés à égale distance de part et d'autre du pivot, le pont étant mis à la serre et chargé d'un poids uniformément distribué simultanément sur la totalité de la volée et de la culasse.

Posons à cette fin

$$(2a-x)\left[\frac{p+p_1}{2}(2a-x)-S-\frac{p_1}{4a}\left\{3a^2+\alpha(a-\alpha)\right\}\right]=$$
$$(2\alpha-x)\left[\frac{p+p_1}{2}(2\alpha-x)-\frac{aS}{\alpha}-\frac{p_1}{4\alpha}\left\{3\alpha^2-a(a-\alpha)\right\}+\right.$$
$$\left.p\,(a^2-\alpha^2)\right]\ldots\ldots(61)$$

L'égalité est satisfaite pour

$$S=S_e=\frac{a^2\,(4p+p_1)-\alpha\,(a-\alpha)\,p_1}{4a}-\alpha\,(p+p_1)\ldots(62)$$

Il est à observer que cette valeur de $\mathfrak{S}$ est indépendante de x ou de la position des sections par rapport au pivot et qu'ainsi *par un seul et même effort de calage on peut, lorsque le pont est chargé d'un poids uniformément réparti simultanément sur la totalité des deux travées, rendre les fatigues que subissent les longerons dans les sections de la volée situées à des distances quelconques du pivot égales aux fatigues qu'éprouvent ces pièces dans les sections situées à la même distance du pivot et appartenant à la culasse.*

Ces fatigues s'expriment par la formule très-simple

$$\left(\frac{\iota\mu}{h'}\right)_5 = \frac{(2a - x)(2\alpha - x)(p + p_1)}{2}$$

Les valeurs de x qui rendent nuls les deux membres de l'équation (61) deviennent alors

$$x_5 = 2a \qquad x_6 = 2\alpha \quad \text{pour la volée ;}$$
$$x'_5 = 2a \qquad x'_6 = 2\alpha \quad \text{pour la culasse.}$$

Comme la longueur de la culasse ne dépasse pas 2α, la valeur $x'_5 = 2a$ n'est pas admissible et la valeur $x'_6 = 2\alpha$ est seule applicable à la partie du longeron qui appartient à la culasse.

La fatigue est donc partout positive dans cette partie du longeron. Dans celle qui correspond à la volée elle est positive ou négative selon que la section se trouve à une distance du pivot moindre ou plus grande que 2α.

Pour que S_6 soit positif il faut que $p_1 < \dfrac{4ap\,(a - \alpha)}{5a\alpha - \alpha^2 - a^2}$

On peut aussi dans le cas d'une charge uniformément distribuée simultanément sur la totalité de la volée et de la culasse rendre égales les fatigues subies par les longerons dans les sections situées à égale distance de part et d'autre du pivot en donnant à la culasse une longueur telle que

$$\alpha = \frac{2a}{p_1}\left(p + \frac{5}{4}p_1\right) \pm \sqrt{\left\{\frac{2a}{p_1}\left(p + \frac{5}{4}p_1\right)\right\}^2 - \frac{4a}{p_1}\left\{ap + \frac{ap_1}{4} - S\right\}}$$

égalité qui, lorsque l'effort de calage est nul, se réduit à

$$\alpha = \frac{2a}{p_1}\left(p + \frac{5}{4}p_1\right) \pm \sqrt{\left\{\frac{2a}{p_1}\left(p + \frac{5}{4}p_1\right)\right\}^2 - \frac{4a}{p_1}\left(ap + \frac{ap_1}{4}\right)}$$

Les surélévations de l'extrémité de la volée et de la culasse qui correspondent à des efforts donnés de calage peuvent se déterminer comme suit :

On posera la condition que lorsque la volée et la culasse du pont sont chargées simultanément sur toute leur étendue, les courbes affectées par les longerons ont leurs tangentes horizontales dans la section qui correspond au pivot, ou parallèles à l'axe des abscisses.

En faisant $x = o$ dans l'équation (3)' de la page 141 on aura donc $\frac{df}{dx} = o$, par suite $c_2 = o$, et comme $c'_2 = o$ (voir la relation (9) de la même page) on aura (voir (3²)),

$$ {}_1f = p \left\{ a^2 x^2 + \frac{x^4}{24} - \frac{ax^3}{3} \right\} - S \left(ax^2 - \frac{x^3}{6} \right). $$

Remplaçant x par $2a$ dans cette dernière, on trouve

$$ {}_1h = 2pa4 - \frac{8a^3}{3} S. \ldots . (63) $$

Substituant cette valeur de ${}_1h$ dans l'équation (20) de la page 98 et ayant égard à la relation

$$ \frac{{}_1\mu}{h'} = 2a^2 p. \ldots . (64) $$

qui exprime la fatigue du longeron dans la section passant par le pivot, lorsque le pont est ouvert, il vient :

$$ h_1 = \frac{a^2 (4a^2 p - a^2 p - 4aS) \mu}{3a^2 ph'}. $$

La relation (63) donne d'ailleurs en ayant égard à (64)

$$ h = \frac{3pa^2 - 4aS}{3p} \frac{\mu}{h'}. $$

Si maintenant on désigne par h^0_1 et h^0 les valeurs particulières que prennent h_1 et h lorsque $S = o$ on aura

$$h^0_1 = \frac{\alpha^2 (4a^2 p - \alpha^2 p)\,\mu}{3a^2 p h'} \qquad h^0 = a^2 \frac{\mu}{h'} \; \ldots\ldots (65)$$

$$h^0_1 - h_1 = \frac{4\alpha^2 S}{3ap}\frac{\mu}{h'} \quad \text{et } h^0 - h = \frac{4aS}{3p}\frac{\mu}{h'} \; \ldots\ldots (66)$$

Les deux dernières équations font connaître respectivement les surélévations de l'extrémité de la volée et de la culasse qui correspondent à un effort de calage S exercé à l'extrémité de la volée pour une hauteur du longeron égale à $2h'$.

Les calculs qui précèdent sont longs, mais les résultats en sont simples et d'une application peu laborieuse. On pourra en juger par l'exemple suivant qui permettra aussi d'apprécier le degré d'utilité de ces calculs.

Supposons un pont tournant dont la volée ait une portée de 20 mètres, la culasse une longueur de $15^m.00$ qui pèse 1,550 kilogrammes et soit destiné à porter une surcharge de 2,500 kilogrammes, par mètre courant de chaque longeron.

On a donc $a = 10^m$, $\alpha = 7^m.50$, $p = 1,550^k$, $p_1 = 2,500^k$.

En substituant ces valeurs aux quantités a, α, p et p_1 dans les formules précédentes on trouve :

1° $\quad 2a^2 p = 310,000$

pour la fatigue d'un longeron dans la section qui correspond au pivot lorsque le pont est ouvert.

$$2^{\circ} \qquad 2a^2p + \left\{ a^2 - \alpha\,(a - \alpha) \right\} \frac{p_1}{2} = 411562{,}50$$

pour la fatigue d'un longeron dans la même section, le pont étant fermé sans être calé, et soumis à l'action d'une surcharge de 2,500 kilogrammes par mètre courant de longeron à la volée et à la culasse.

Le second chiffre est notablement supérieur au premier, de sorte que dans la section passant par le pivot les longerons du pont souffriront beaucoup plus quand il sera fermé et chargé, sans être mis à la serre, que lorsqu'il sera ouvert.

$$3^{\circ} \qquad S_1 = 13184^{\,k}.,$$

pour l'effort de calage le plus avantageux à appliquer à l'extrémité de chaque longeron du côté de la volée dans le cas où les sections de ces pièces sont constantes et qu'elles sont soumises successivement à l'action : 1° d'une surcharge de 2,500 kilogrammes par mètre courant de longeron à la volée et à la culasse et 2° d'une surcharge semblable à la volée seulement.

Par l'application de cet effort la fatigue d'un longeron dans la section passant par le pivot devient

$$2a^2p + \left\{ a^2 - \alpha\,(a - \alpha) \right\} \frac{p_1}{2} - 2aS_1 = 411562{,}50 - 263680 = 147882{,}50$$

Ce dernier chiffre et le nombre 411562,50 trouvé au 2° ci-dessus sont dans le rapport de 0,359 à 1. La fatigue dans la section qui correspond au pivot est donc rendue par le calage environ trois fois moindre que celle qui se produirait dans cette section si le pont n'était pas mis à la serre. Ce résultat montre combien il peut être avantageux

dans certaines circonstances d'avoir recours à un calage convenable pour diminuer la fatigue du pont lors du passage de fortes charges.

Lorsque $S_4 = 13184^k$ on a aussi :

$$1^\circ \quad m'_1 = -\frac{\left[S_4 + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)}\right]^2}{2(p+p_1)} = -147882{,}50$$

pour la fatigue négative maxima à la volée d'un longeron soumis à l'action d'une surcharge de 2,500 kilogrammes par mètre courant, appliquée seulement à la volée, et cette fatigue maxima se produit dans la section éloignée du pivot de la quantité

$$x_1 = 2a - \frac{S_4 + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)}}{p+p_1} = 11^m.46.$$

$$2^\circ \quad m'_1 = -\frac{\left[\frac{aS_4}{\alpha} + \frac{\alpha p_1(3\alpha+4a)}{4(a+\alpha)} - \frac{p(a^2-\alpha^2)}{\alpha}\right]^2}{2(p+p_1)} = -70217$$

pour la fatigue négative maxima à la culasse d'un longeron soumis à l'action d'une surcharge de 2,500 kilogrammes par mètre courant appliquée seulement à la culasse, et cette fatigue maxima se produit dans la section éloignée du pivot de la quantité

$$x_1 = 2\alpha - \frac{\frac{aS_4}{\alpha} + \frac{\alpha p_1(3\alpha+4a)}{4(a+\alpha)} - \frac{p(a^2-\alpha^2)}{\alpha}}{p+p_1} = 8^m.76.$$

Dans le même cas, c'est-à-dire $S_4 = 13184^k$ on a encore

$$\left(\frac{{}^s\mu}{h'}\right)_2 = -\frac{\left[p_1 \left\{ 3a^2 + \alpha(a-\alpha) \right\} + 4aS_4 \right]^2}{32a^2 (p + p_1)} = -135301$$

pour la fatigue négative maxima à la volée d'un longeron soumis à l'action d'une surcharge de 2,500^k par mètre courant à la volée et à la culasse, et

$$x_2 = 2a - \frac{p_1 \left\{ 3a^2 + \alpha(a-\alpha) \right\} + 4aS_4}{4a(p+p_1)} = 11^m.83$$

pour la distance au pivot de la section où se produit ce maximum

Le chiffre 135301 est assez différent de celui 147882,50 trouvé plus haut pour que dans la détermination du maximum négatif on ne se borne pas à considérer le cas d'une surcharge distribuée simultanément sur la volée et la culasse. Il faut bien dans la pratique avoir égard au cas où la surcharge n'agit que sur la volée seulement.

Enfin, dans la même hypothèse, $S_4 = 13184$, on a

$$M'_2 = 2a^2p + 2a^2p_1 - 2aS_4 - \frac{a^2p_1}{a+\alpha}\left(\frac{3}{2}a + 2\alpha\right) = 117749,$$

pour la fatigue d'un longeron dans la section qui correspond au pivot, le pont étant fermé et soumis à l'action d'une surcharge de 2,500 kilogrammes par mètre courant de longeron appliquée seulement à la volée.

Le chiffre 117749 est notablement inférieur au nombre 147882,50, ce qui montre que dans la pratique, pour la détermination du maximum de la fatigue positive, il faut bien considérer le cas où la surcharge occupe simultanément la volée et la culasse.

Les surélévations à l'extrémité de la volée et de la culasse qui correspondent à l'effort de calage $S_4 = 13184^k$ sont

respectivement (voir les équations (64) et (65)), dans l'hypothèse que les longerons aient une hauteur de $1^m.20$ et que $\mu = 0,0003$,

$$h^0 - h = 0^m.05 - (-\,0^m.0067) = 0^m.0567$$
$$h^0_1 - h_1 = 0^m.0322 - 0^m.000329 = 0^m.0318$$

4°
$$S = o \begin{cases} m'_1 = -\dfrac{\left[\dfrac{ap_1\,(3a+4\alpha)}{4\,(a+\alpha)}\right]^2}{2\,(p+p_1)} = -\,56689,31 \\[2ex] x_1 = 2a - \dfrac{ap_1\,(3a+4\alpha)}{4\,(a+\alpha)\,(p+p_1)} = 14,71 \end{cases}$$

$$S = o \begin{cases} \left(\dfrac{I\mu}{h'}\right)_2 = -\dfrac{\left[p_1\left\{3a^2+\alpha\,(a-\alpha)\right\}\right]^2}{32a^2\,(p+p_1)} = -48997 \\[2ex] x_2 = 2a - \dfrac{p_1\left\{3a^2+\alpha\,(a-\alpha)\right\}}{4a\,(p+p_1)} = 15^m.09 \end{cases}$$

$$S=o \quad M'_2 = 2a^2p + 2a^2p_1 - \frac{a^2p_1}{a+\alpha}\left(\frac{3}{2}a + 2\alpha\right) = 381429.$$

5°
$$S_2 = \frac{\left\{a^2 - \alpha\,(a-\alpha)\right\}p_1}{4a} = 5078^k,$$

pour l'effort de calage exercé à l'extrémité du longeron du côté de la volée qui rend égale la fatigue qui se produit dans la section passant par le pivot, lorsque le pont est ouvert à la fatigue qui a lieu dans la même section lorsque le pont est fermé et qu'il porte une surcharge de $2,500^k$ par mètre courant de longeron à la volée et à la culasse.

Dans l'hypothèse $S_s = 5078$ on a pour la fatigue négative maxima à la volée

$$m'_1 = -\frac{\left[S_s + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)}\right]^2}{2(p+p_1)} = -86736,79.$$

Les surélévations à l'extrémité de la volée et de la culasse qui correspondent à l'effort de calage $S_s = 5078^k$ sont respectivement (voir les équations (64) et (65)), dans l'hypothèse que les longerons aient une hauteur de $1^m.20$ et que $\mu = 0,0003$,

$$h^o - h = 0^m.05 - 0^m.0281 = 0^m.0219$$
$$h^o_1 - h_1 = 0^m.0322 - 0^m.02 = 0^m.0122$$

6° $S_e = \frac{a^2(4p+p_1) - \alpha(a-\alpha)p_1}{4a} - \alpha(p+p_1) = -9797^k$

pour l'effort de calage qui rend les fatigues que subissent les longerons dans les sections de la volée situées à des distances quelconques du pivot égales aux fatigues qu'éprouvent ces pièces dans les sections situées à la même distance du pivot et appartenant à la culasse, les deux travées du pont portant simultanément une surcharge de 2,500 kilogrammes par mètre courant de chaque longeron.

S_e étant négatif cet effort de calage n'est pas admissible ici. Il est du reste à remarquer que, pour que S_e soit positif il faut que l'on ait $p_1 < \frac{4ap(a-\alpha)}{5a\alpha - \alpha^2 - a^2}$ et par conséquent dans l'exemple dont il s'agit

$$p_1 < 708^k.$$

Pour remplir la condition qui fait l'objet de ce § en

modifiant la longueur de la culasse, tout en conservant les autres données de l'exemple, il faudrait satisfaire à l'équation

$$\alpha \overset{=}{<} \frac{2a}{p_1}\left(p + \frac{5}{4}p_1\right) - \sqrt{\left\{\frac{2a}{p_1}\left(p + \frac{5}{4}p_1\right)\right\}^2 - \frac{4a}{p_1}\left(ap + \frac{ap_1}{4}\right)}$$

d'où l'on déduit $\alpha \overset{=}{<} 4^m.99$ et $2\alpha \overset{=}{<} 9^m.98$.

7° $11740327{,}61 + 45{,}4992.\ S + 0{,}0021235825.\ S^2 + 0{,}000000033014.\ S^3$

$$5298845{,}77 + 141{,}2845.\ S + 0{,}0071503.\ S^2 + 0{,}00000012051121.\ S^3$$

$$1212723{,}79 - 230{,}529932.\ S - 0{,}00153123.\ S^2 - 0{,}0000000256.\ S^3$$

respectivement pour chacune des intégrales définies de la page 154.

$$18251897{,}17 - 43{,}746202.\ S + 0{,}00774265.\ S^2 + 0{,}000000127925.\ S^3$$

pour la somme de ces trois intégrales.

En égalant à zéro la dérivée de cette somme prise par rapport à S, on obtient l'équation

$$0{,}000000383775.\ S^2 + 0{,}0154853.\ S = 43{,}746202$$

qui donne

$$S = 2650^k.83,$$

pour l'effort de calage exercé à l'extrémité de chaque longeron du côté de la volée qui permet, dans le cas où les

sections des longerons sont variables, de donner le minimum de poids aux parties des longerons qui appartiennent à cette travée.

Cet effort est inférieur à celui qu'il faut produire à l'extrémité de chaque longeron du côté de la volée pour que le pont reste calé lors du passage de la charge. Ce dernier est

$$S = 2ap_1 \frac{a}{8(a+\alpha)} = 3571^k.$$

Les surélévations à l'extrémité de la volée et de la culasse qui correspondent à l'effort de calage $S = 3571^k$, sont respectivement, dans l'hypothèse que les longerons aient une hauteur de $1^m.20$ et que $\mu = 0{,}0003$,

$$h^0 - h = 0^m.05 - 0^m.0346 = 0^m.0154$$
$$h^0_1 - h_1 = 0^m.0322 - 0^m.0235 = 0^m.0087.$$

Lorsque $S = 2650^k.83$, on a

$$m'_1 = -\frac{\left[S + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)}\right]^2}{2(p+p_1)} = -71582{,}40$$

$$x_1 = 2a - \frac{S + \frac{ap_1(3a+4\alpha)}{4(a+\alpha)}}{p+p_1} = 14^m.06$$

$$\left(\frac{\epsilon\mu}{h'}\right)_2 = 2a^2p + \left\{a^2 - \alpha(a-\alpha)\right\}\frac{p_1}{2} - 2aS = 358545{,}90$$

Les surélévations à l'extrémité de la volée et de la culasse qui correspondent à l'effort de calage $S = 2650^k$ sont respectivement, dans l'hypothèse que les longerons aient une hauteur de $1^m.20$ au pivot et que $\mu = 0{,}0003$

$$h^{\circ} - h = 0^m.05 - 0^m.0386 = 0^m.0114$$
$$h^{\circ}_1 - h_1 = 0^m.0322 - 0^m.0258 = 0^m.0064$$

Il est à remarquer que toutes les surélévations indiquées ci-dessus produisent l'horizontalité des longerons au pivot, lorsque le pont est totalement chargé.

Quand $S = 2650^k$ la somme des trois intégrales définies de la page 154 est représentée par le chiffre

18192722,85.

Si $S = 5000$ cette somme devient

18242723,03.

Supposons $S = 13000$.

La valeur de la 3me intégrale définie ne doit plus alors entrer en ligne de compte dans l'expression proportionnelle au poids du longeron de la page 154, car la limite inférieure

$$x = 2a - \frac{2\left[S + \frac{p_1}{4a}\left\{3a^2 + \alpha(a - \alpha)\right\}\right]}{p_1}$$

de la deuxième intégrale, laquelle limite est nulle pour $S = 5078^k$ est nécessairement négative pour $S = 13000$. Il faut par conséquent pour avoir l'expression qui est proportionnelle au poids du longeron admettre $x = o$ comme limite inférieure de la deuxième intégrale et prendre la somme de celle-ci et de la première.

La deuxième intégrale définie en y supposant $x = o$ pour limite inférieure est

$$6319238,28 - 16,2472.\ S - 0,0007567.\ S^2 - 0,00000011753.\ S^3$$

et l'on a pour la somme de celle-ci et de la première

$$18059465{,}89 + 29{,}2520.\ S + 0{,}0020479125.\ S^2 + 0{,}000000021261.\ S^3.$$

Faisant $S = 13000$ dans cette expression on obtient pour l'ensemble des trois termes le nombre

18832549,51.

En rapprochant les chiffres 18192722,85, 18242723,03, 18832549,51, on voit qu'ils diffèrent peu l'un de l'autre, de sorte que si les sections des longerons sont déterminées comme il est dit à la page 154, la valeur de l'effort de calage n'influera pas sensiblement sur le poids de ces pièces. On pourra donc dans ce cas régler l'effort de mise à la serre selon les données particulières de la question. Mais il faudra ne pas perdre de vue qu'une fois cet effort précisé et les sections des longerons calculées en conséquence, il ne sera plus permis de modifier le calage, à cause de la grande influence qu'un semblable changement est capable d'exercer sur la fatigue des pièces.

Gand, le 2 février 1869.



MÉLANGES.

I. — Température des mines de houille. — Notice sur les observations de la température des couches faites pendant l'enfoncement du puits Rose-Bridge près Wigan, lue par M. E. Hull devant la Royal Society (1).

Dans un mémoire de M. W. Hopkins intitulé : *Recherches expérimentales sur les pouvoirs conducteurs de diverses substances*, et publié, en 1857, dans *les transactions philosophiques*, l'auteur rendait compte d'une série d'expériences faites sous sa direction et celle de M. W. Fairbairn, pendant l'enfoncement du puits Astley du charbonnage de Dukinfield, situé dans le Cheshire. A l'époque à laquelle ce mémoire était écrit, la profondeur du puits était d'un peu plus de 427^m et l'augmentation de température, entre les profondeurs de $213^m,50$ et de $405^m,65$, fut trouvée être de 1° pour environ 36^m. Les observations ont été continuées jusqu'à la profondeur de 656^m ; la dernière expérience, faite dans un banc de schiste situé au-dessus de la couche Black Mine, accusait une température de 24°,2, si l'on prend pour couche de température constante, ou comme l'appelle Humboldt, la *couche invariable*, celle qui se trouve à $5^m,03$ avec une tempé-

(1) Extrait du *Colliery Guardian* du 11 février 1870.

rature de 10°,5, l'augmentation totale de température sera de 13°,7, ou une augmentation de 1° pour chaque 49ᵐ, ce qui est beaucoup en-dessous de la moyenne. De 1854 à 1856, un autre puits fut enfoncé à Wigan et atteignit le profondeur de 549ᵐ à laquelle il recoupa la célèbre couche Cannel Mine. De semblables observations sur la température des terrains y furent faites, avec beaucoup de soin, par le directeur, M. Bryham. La température de la roche était, à cette profondeur de 26°,6, si l'on prend les mêmes chiffres qu'à Dukinfield pour la couche invariable, on obtient 1° pour chaque 32ᵐ, ce qui s'accorde assez bien avec le résultat obtenu par le professeur Phillips à la mine de Monkwearmouth. En 1868, le propriétaire de la mine de Rose Bridge, M. Grant-Morris, se décida à enfoncer ce puits de la couche Cannel à la couche Arley qui se trouve à 182ᵐ,80 en-dessous. Ce travail fut terminé en quatorze mois, le puits avait alors une profondeur de 739ᵐ et le thermomètre, placé dans la couche Arley même, indiqua une température de 34°,1. Le directeur M. Bryham, reconnaissant toute l'importance de ces observations à de telles profondeurs (c'est la mine la plus profonde de la Grande Bretagne), entreprit une série d'expériences qu'il fit avec infiniment de soins. Il pratiquait au fond du puits, dans une roche convenable, schiste ou charbon, un trou de mine de 0ᵐ,914 de profondeur qu'il tenait constamment rempli d'eau. Après avoir séché le trou, on y introduisait un thermomètre et l'on fermait l'ouverture avec de l'argile. Une demi-heure après on retirait le thermomètre et notait le degré. On peut objecter que trente minutes ne sont pas suffisantes et que les résultats ne sont pas tout-à-fait exacts, cependant, s'il y a erreur, elle doit être inappréciable et ne peut annuler le résultat général. M. Bryham assure même que, dans plusieurs occasions, il a reconnu qu'il suffisait de moins d'une demi-heure. Les résultats sont indiqués dans le tableau suivant :

		Profondeurs.	Stratifications.	Températ. dans le puits.	Températ. dans la roche.
1854. —	juillet.	127ᵐ,15	schiste.	—	18°
	août.	171 ,83	»	—	18,8
1858. —	mai.	502 ,70	schiste.	—	25,5
	juillet.	548 ,40	»	—	26,6

1868. —	19 avril.	575,82	couche Raven.	22°,8	28°,3
	18 mai.	607,81	schiste dur.	24	29,4
	24 juillet	615,12	couche yard val mine.	24,4	30
	18 nov.	639,80	grès dur.	24,4	30,5
1869. —	22 févr.	672,70	grès dur.	24,4	31,4
	12 mars.	683,67	schiste.	25	31,6
	17 avril.	696,47	schiste dur.	25,5	32,5
	3 mai.	707,44	schiste dur.	26,6	33
	19 mai.	714,75	grès.	26,1	33,3
	8 juillet.	732,11	schiste dur.	26,1	33,3
	16 juillet	738,50	couche Arley.	26,1	35,2

En comparant ces chiffres, on remarque que les différences entre les températures dans les puits et dans les roches tendent à augmenter à mesure que la profondeur devient plus grande, ou en d'autres termes la température des roches augmente plus rapidement que celle du puits. La température et la grande pression sur les terrains à cette profondeur de 739ᵐ occasionneront, d'après M. Bryham, un surcroit de dépense pour le salaire et le boisage, et cette mine sera un exemple pour étudier ces effets sur les travaux souterrains.

Pour obtenir la valeur moyenne d'augmentation de chaleur, nous pouvons, en l'absence d'observation directe, supposer que la couche invariable se trouve à 15ᵐ,25 et à une température de 10°. A l'aide de cette donnée, l'augmentation de chaleur, à Rose Bridge, est de 1° pour chaque 30ᵐ, valeur qui se rapproche de celle de 1° pour 33ᵐ, obtenue par le professeur Phillips à la mine de Monkwearmouth. Si l'on adopte le même terme de comparaison pour les deux cas, on obtient, pour Rose Bridge, une augmentation de 1° par 26ᵐ contre 1° par 46ᵐ à Dukinfield.

Une si grande discordance dans les résultats est remarquable et ne doit pas, dans mon opinion, être attribuée à l'inexactitude des observations; je pense qu'elle peut être expliquée, du moins en partie, par la différence dans la position et l'inclinaison des terrains. La mine de Rose Bridge, en effet, exploite des couches presque horizontales interrompues, au levant et au couchant, par de grandes failles parallèles le long desquelles tous les terrains sont descendus, tandis que celle de Dukinfield a recoupé des

couches fortement inclinées qui affleurent, vers l'ouest, sous des angles de 30 à 35°. Je pense que l'on peut avancer que des terrains composés d'alternance de grès, schiste, argile et charbon conduiront la chaleur plus rapidement suivant leurs plans de stratification qu'à travers les couches. S'il en est ainsi, et si l'on a égard aux expériences de M. Hopkins qui prouvent que les différentes espèces de roches ont des pouvoirs conducteurs différents, on a une raison suffisante pour admettre les résultats ci-dessus. Dans le cas de Rose Bridge, la chaleur intérieure s'échappe seulement à travers les couches et ses progrès sont arrêtés par la rencontre de terrains dont le pouvoir conducteur n'est pas le même ; à Dukinfield, au contraire, la chaleur intérieure suit le plan des couches et finalement s'échappe par les affleurements. J'offre cette idée simplement pour expliquer les résultats ci-dessus et j'ajoute qu'à la mine de Monkwearmouth, où les terrains sont aussi dans une position qui se rapproche beaucoup de l'horizontale, les observations thermométriques correspondent assez bien avec celles obtenues à Rose Bridge, ce qui appuyerait l'explication que je viens de donner.

J. G.

II. — Température souterraine. — Notice adressée par M. E. Hull, directeur du Geological Survey d'Ireland au Quaterly journal of science (1).

Pendant l'année passée, plusieurs séries d'expériences, du plus grand intérêt, ont été faites sur l'augmentation de température souterraine. Dans une occasion précédente, j'ai donné un résumé des observations sur cette intéressante étude et une explication qui, si elle est adoptée, pourra, dans mon opinion, permettre de fixer la valeur de l'augmentation de température à des profondeurs jusqu'ici inconnues. C'est une satisfaction de trouver que le plan proposé a rencontré l'approbation du comité désigné

(1) Extrait du *Colliery Guardian* du 8 avril 1870.

par l'association britannique pour l'avancement de la science, en ce qui concerne la recherche de la valeur de l'augmentation de la température intérieure dans diverses localités. Le rapport pour l'année passée, rédigé par le professeur Everett, à la demande de ses collègues, vient d'être publié et contient un certain nombre d'expériences entreprises par Sir William Thomson et M. Mac Farlane, dans les environs de Glasgow et par M. Symons, à Kentish-Town, dans la Métropole, au puits de la *New River Company*. Ces observations étaient faites dans les diverses couches d'eau dont on supposait la température égale à celle des roches; les instruments employés étaient ceux inventés par Sir Thomson et par le professeur Phillips pour éviter les erreurs (bien qu'elles ne soient pas d'une grande importance) résultant de la pression de l'eau, à des profondeurs considérables, sur la boule du thermomètre.

Des deux expériences faites près de Glasgow, l'une à Blythswood, à la profondeur de 160^{m}, a indiqué une température de 15°,30 et l'autre à South Balgray, à la profondeur de 105^{m},84, a indiqué une température de 12°,05. La couche à température constante était atteinte à la profondeur d'environ 18^{m},30, d'où il résulte qu'à Blythswood l'augmentation est de 1° pour chaque série de 28^{m}, et à South Balgray de 1° par 22^{m},70. Cette dernière valeur est de beaucoup supérieure à celles obtenues précédemment.

A Kentish Town, les observations on été faites à la profondeur de 335^{m},50 et le maximum de température a été de 21°,1 donnant une augmentation de 1° par 29^{m}. Dans ces expériences, malgré les soins pris pour prévenir l'influence de l'air extérieur sur l'eau du puits, il a été constaté, par M. Symons, que cette influence se faisait sentir jusque près de 61^{m}, la température de l'eau s'élevant et s'abaissant avec celle des saisons jusqu'à cette profondeur. Le puits avait cependant 2^{m},44 de diamètre.

Les expériences entreprises à la mine de Rose Bridge, près Wigan, par le directeur M. Bryham, ont été faites pendant l'approondissement du puits. Les résultats diffèrent tellement de ceux obtenus à la mine de Dukinfield, située vers la limite levant du même bassin du Lancashire et seulement un peu moins profonde, qu'une discussion sur la cause de cette discordance n'est pas sans intérêt.

La relation des observations faites à la mine de Dukinfield, par M. Fairbairn (1848-59), indique une température de 24°,2 dans la couche Black Mine, recoupée à la profondeur de 656^m, soit une augmentation de 1° par 49^m.

Les observations à la mine de Rose Bridge (1854-61), n'eurent lieu d'abord que jusqu'à la profondeur de 549^m où l'on constata que la température des roches était de 26°,6. En 1849, le puits atteignit la profondeur de 739^m, et la température maximum, prise dans la couche Arley, fut trouvée de 34°,2. La couche invariable étant supposée atteinte à la profondeur de 15^m,25 et sa température de 10°, l'augmentation était de 1° par 34^m. Ces chiffres comparés à ceux de Dukinfield montrent que l'augmentation de température est beaucoup plus rapide dans la première localité que dans la seconde. Si l'on prend le même terme de comparaison pour les deux cas, on trouve qu'à Rose Bridge cette augmentation est de 1° par 26^m, tandis qu'à Dukinfield elle est de 1° par 46^m. Une si grande discordance peut, je pense, s'expliquer sans la mettre sur le compte d'erreurs d'observations.

Ces résultats ne peuvent être attribués aux différences dans les pouvoirs conducteurs des roches dans les deux localités. Bien que des coupes faites en deux points d'un même bassin présentent différentes proportions de grès, argiles, schistes, etc., arrangés de diverses manières, lesquels combinés composent ce qu'on appelle le terrain houiller, *coal measure*, on peut admettre, si les observations s'étendent, dans chaque cas, à des profondeurs considérables telles que celles des exemples ci-dessus qui excèdent, 610^m, que les variétés de terrains tendront à se balancer et que toute cause de discordance, dans la valeur de l'augmentation de température, disparaîtra probablement ou sera réduite à tel point qu'elle sera insensible.

Cette divergence ne peut non plus être attribuée à la présence de l'eau dans les terrains, car, comme je l'ai fait observer dans une autre occasion, la filtration de l'eau diminue avec la profondeur et cesse tout-à-fait à des distances variables de la surface, ou est limitée à une très petite quantité qui, ordinairement, prend la température des roches. Nous devons donc chercher d'autres causes pour expliquer ces résultats.

L'inclinaison des couches est une cause de variation dont il n'a

pas encore été tenu suffisamment compte, mais qui ne doit pas être perdue de vue surtout en comparant les résultats obtenus à des profondeurs moyennes. Dans le cas de terrains entièrement de composition uniforme, tels que la marne, le nouveau grès rouge, l'inclinaison est de peu d'importance, mais quand on a à faire à une formation comme celle du terrain houiller, composée de couches si diverses alternant les unes avec les autres et possédant des pouvoirs conducteurs de chaleur différents, l'inclinaison devient un élément de la plus grande importance quand il s'agit de l'augmentation de température. Dans une communication à la Royal Society, j'ai émis l'avis que la discordance des résultats obtenus aux mines de Rose Bridge et à Dukinfield pouvait être attribuée à la différence d'inclinaison des stratifications et je me propose ici de donner un peu plus de détails sur ces deux mines.

Mine de Rose Bridge. — Cette partie du bassin houiller du South Lancashire, connu sous le nom de district de Wigan, est traversée par une série de failles parallèles dont la direction est nord-ouest et qui ont occasionné de très-grands rejets. Ces failles divisent le terrain en sections ou *belts;* quand les terrains sont descendus le long des failles, il se produit ce que l'on appelle un *deep belt*, quand, au contraire, ils ont été soulevés, il en résulte un *shallow belt*, dans ce dernier cas la même couche se trouve à une moindre profondeur de la surface que dans le premier cas. Entre ces failles, l'inclinaison est faible et a lieu généralement vers le levant. La mine Rose Bridge est située presque au centre de l'un de ces *deep belt,* lequel est borné au couchant par la faille *Standish* le long de laquelle les couches sont descendues sur la paroi levant de 137^{m} et, au levant, par la faille *Kirkless Hall,* le long de laquelle les couches sont descendues sur la paroi couchant de 548^{m} environ. Les couches presque horizontales à la mine, sont cassées par ces deux failles avant d'atteindre la surface.

Mine de Dukinfield. — Elle est située dans le Cheshire, près de Ashton-under-Lyne, et dans ce district les couches sont fortement inclinées et affleurent au couchant sous des angles très-élevés. A la mine, l'inclinaison est d'environ 35° et la couche Black Mine, recoupée à la profondeur de 656^{m} affleure vers l'ouest à une distance un peu moindre que 915^{m}.

D'après cela, on voit qu'il y a une très grande différence dans

les deux localités, différence à laquelle j'attribue, en grande partie, la discordance des résultats obtenus. La chaleur intérieure qui s'échappe à la surface rencontre des terrains de pouvoirs conducteurs différents. Les expériences de M. Hopkins ont prouvé que, dans une même localité, le pouvoir conducteur de chaque couche était en raison inverse de la valeur d'augmentation de température ou en d'autres termes que plus l'augmentation de température est rapide, plus le pouvoir conducteur est faible. Mais quel que puisse être ce pouvoir conducteur, il semble probable qu'il est arrêté quand la chaleur doit s'échapper dans une direction perpendiculaire au plan des couches. D'un autre côté, si la chaleur peut trouver son chemin, vers la surface, partiellement suivant le plan des couches, le pouvoir conducteur est augmenté et la valeur d'augmentation de température proportionnellement diminuée.

Si cette observation est juste, nous pouvons expliquer la différence des résultats obtenus aux mines de Rose Bridge et de Dukinfield. Dans la première, où les couches sont horizontales, la chaleur intérieure peut seulement trouver son chemin perpendiculairement au plan des couches, la résistance est donc augmentée, la conductibilité diminuée et la valeur de l'augmentation de température plus rapide. Dans la seconde, on peut admettre, à cause de la grande inclinaison des terrains, qu'une partie de la chaleur s'échappe suivant le plan des couches et par les affleurements avec plus de rapidité que si elle était obligée de traverser les couches mêmes.

J. G.

III. — Expériences sur l'élasticité du caoutchouc vulcanisé.

M. A. Stévart, ingénieur à l'administration des chemins de fer de l'État, a entrepris l'étude expérimentale de l'élasticité du caoutchouc vulcanisé. Les premiers essais, sur l'allongement de cette substance, l'ont conduit à des résultats très-intéressants, qu'il a récemment publiés dans le *Bulletin du Musée de l'Industrie* (livraison de mai 1870).

Toutes les expériences ont été faites sur une seule espèce de

matière : d'excellent caoutchouc du Para, vulcanisé par un procédé spécial, d'une densité de 1,060 à 1,065, et qui peut être considéré comme un des meilleurs types de caoutchouc industriel.

Elles ont porté sur sept échantillons, en formes d'anneaux à sections rectangulaires, dont les diamètres extérieurs variaient de 106,1 mill. à 118,2 mill., les largeurs, de 4,8 mill. à 9,2, et les épaisseurs, de 5 à 10,9 mill.

Voici la disposition de ces expériences : un crochet en fer poli est attaché à une solide traverse ; l'anneau en caoutchouc y est suspendu et ensuite chargé, à la partie supérieure, d'un plateau, qui reçoit successivement les charges d'essai. Sous l'action de celle-ci, l'anneau, d'abord rond, devient elliptique, puis, en s'allongeant, ses deux côtes deviennent droits et parallèles.

Préalablement à l'expérience, on a marqué, de chaque côté de l'anneau, deux repères limitant la longueur d'une portion de la bande comprise entre les deux crochets. La détermination exacte de cette longueur se fait, en serrant l'anneau entre deux règles jusqu'à ce que les deux côtés se touchent, et en traçant à l'encre deux traits fins écartés d'une quantité donnée, qui est la *longueur initiale* de la bande soumise aux essais. En mesurant, après chaque addition de poids, la distance verticale comprise entre les deux repères, on obtient par différence la quantité dont la bande s'est allongée.

Le poids suspendu à l'anneau se partage également entre les deux côtés : on n'en considère que la moitié, que l'on suppose agir sur une seule bande, ayant la section primitive de l'anneau.

M. Stévart a soumis d'abord six des rondelles en caoutchouc à des charges successivement augmentées de 1/2 ou 1 kilog. Depuis 500 grammes jusqu'à 29 kil., la *longueur initiale* observée étant la même dans tous ces essais, 120 millimètres. Ensuite, pour rechercher si la longueur soumise à l'extension a une influence, et dans quelle mesure les allongements varient quand les poids agissent pendant un temps plus ou moins long, il a fait sur une septième rondelle, de nouvelles expériences, les *longueurs initiales* observées variant de 75 millimètres à 200 millimètres, avec des charges croissant successivement de 1/4 de kilog., depuis 250 grammes jusqu'à $14^{k}25$.

En examinant attentivement les indications fournies par tous ces

essais, et les reliant par des constructions graphiques, M. Stévart est arrivé aux intéressantes conclusions que voici, et qu'il croit acquises comme résultats d'expériences :

« Une bande de caoutchouc soumise à un effort longitudinal » prend immédiatement une certaine longueur qui augmente notablement si la charge continue de faire sentir son action, mais » qui, mesurée immédiatement, est proportionnelle à la longueur » primitive ;

« La relation entre la longueur et la charge qui la produit est » très-compliquée et se traduit graphiquement en une courbe dont » le degré est probablement supérieur au 3ᵉ et qui présente un » point d'inflexion dont les coordonnées sont :

$$x = ES.$$
$$y = 2\ l_0,$$

l_0 représentant la longueur initale de la bande,
S sa section,
E le module d'élasticité ;

» Néanmoins, le poids nécessaire pour augmenter dans un rap- » port donné la longueur primitive, est toujours proportionnel à » la section ;

» Le poids sous lequel la longueur est doublée étant de » 84 grammes par millimètre carré de section, la valeur du mo- » dule E d'élasticité est donc, pour la matière qui nous occupe, » $E = 0,084$;

» Sous un poids triple de celui qui double la longueur, celle-ci » est quadruplée ;

» L'extensibilité par unité de charge ajoutée est variable; » elle croît jusqu'à ce que la longueur soit doublée et à partir » de ce point elle diminue ;

» Enfin, cette extensibilité maximum est exactement représen- » tée par la formule

$$e = \frac{3\ l_0}{2ES}$$

» qui donne l'allongement pour un 1 kilogramme de charge ajouté » au moment où la longueur est doublée. »

IV. — Explosion produite par l'acétylure de cuivre dans un tuyau a gaz.

Le 21 avril dernier, l'appareilleur Rotti ayant au moyen d'une lime triangulaire scié jusqu'à moitié de son diamètre un tuyau en cuivre rouge de $0^m,010$ de diamètre intérieur, servant à la distribution du gaz à la station de Liége, venait de retirer l'outil, lorsqu'il se produisit une explosion comparée à un coup de fusil par l'ouvrier qui fut brûlé au visage.

Un fait semblable s'était produit la veille, avec moins d'intensité toutefois. L'ouvrier qui n'avait pas été atteint, n'en fit pas rapport.

Quelques uns des tuyaux voisins ayant été démontés, on les a trouvés tapissés d'enduits noirâtres abondants; ils présentaient d'ailleurs des traces évidentes de corrosion par des condensations fortement ammoniacales.

M. le professeur Chandelon qui a bien voulu, à la demande de M. l'ingénieur en chef Cambrelin, examiner la matière noirâtre, a consigné le résultat de ses recherches dans la lettre reproduite ci-après :

A Monsieur Cambrelin, *ingénieur en chef à l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes.*

Liége, le 21 mai 1870.

J'ai examiné la matière détonnante que M. l'ingénieur Docteur a recueillie dans un tuyau à gaz en cuivre rouge et à laquelle on attribue l'explosion qui s'est produite à la station des Guillemins, le 21 avril dernier et a brûlé au visage l'aide-appareilleur Rotti qui, en ce moment limait et réparait ce tuyau.

Cette substance se présente sous la forme d'une poudre noire parsemée de petites écailles d'un brun foncé et répandant une odeur de gaz éclairant très-prononcée.

Placée sur une enclume et frappée avec un marteau, elle ne détonne point; projetée sur une plaque métallique chauffée à environ 180 degrés, ou bien touchée avec un fer rouge, elle brûle en lançant des étincelles.

L'eau n'a pas d'action sur elle; mais l'acide chlorhydrique la décompose immédiatement en donnant lieu à une effervescence due au dégagement d'un gaz odorant et combustible. Ce gaz forme, dans la solution ammoniacale de protochlorure de cuivre, un précipité rouge-marron; réaction qui constitue le caractère distinctif de l'acetylène $C^2 H^2$.

La solution chlorydrique d'où l'acétylène s'est dégagée a donné toutes les réactions du cuivre de sorte que la matière déposée dans le tuyau est l'acétylure de cuivre, $\left.\begin{matrix} C^2 & H & Cu'' \\ C^2 & H & Cu'' \end{matrix}\right\} O$ composé qui fait explosion par le choc et qui chauffé détonne entre 95 et 120 degrés, en produisant de l'eau, du cuivre, du carbone, de l'acide carbonique et des traces d'oxyde de carbone.

L'acétylène existe dans le gaz de houille, et lorsqu'on fait passer un courant d'acétylène à travers une solution d'oxide de cuivre dans l'ammoniaque, il est absorbé, en grande partie brûlé, et il se dépose sur les parois du vase une matière charbonneuse, mélangée d'une petite quantité d'acétylure de cuivre.

Feu M. Boetger, en 1859, a signalé la formation de composés explosibles par l'action du gaz de l'éclairage sur certaines solutions salines, et, notamment, sur une solution ammoniacale de protoxyde de cuivre. Le professeur Gorrey a observé à New-York une combinaison analogue qui avait tué un ouvrier occupé à enlever dans une maison des tuyaux de conduite de gaz de l'éclairage. Cet ouvrier s'étant avisé de placer dans sa bouche l'extrémité d'un des tuyaux de cuivre et d'y souffler avec beaucoup de force, il y eut à l'instant même une forte détonation par laquelle la bouche et les organes voisins furent tellement déchirés que les blessures causèrent la mort au bout de quelques heures.

Ce qui précède explique parfaitement l'accident survenu aux Guillemins, et, comme moi, Monsieur l'ingénieur en chef, vous serez, je pense, d'avis qu'on devrait défendre l'emploi du cuivre pour la confection des tuyaux d'appareillage.

Agréez, Monsieur l'ingénieur en chef, l'assurance de mes sentiments les plus distingués.

J. CHANDELON.

V. — NOTICE SUR UNE EXPLOSION SURVENUE A LA POUDRIÈRE DE GRANDGLISE (HAINAUT), LE 8 SEPTEMBRE 1866, PAR M. J. MALAISE, INGÉNIEUR CIVIL.

Trop fréquemment les accidents qui viennent frapper nos poudrières ne sont pas l'objet d'une étude suffisamment approfondie, de sorte que les causes qui les ont amenés restent presque toujours inconnues. Ce sont cependant des enseignements dont nos industriels doivent profiter, soit pour corriger un vice de construction, soit pour prendre les mesures de précaution qui peuvent en empêcher le retour, ou tout au moins en atténuer les effets.

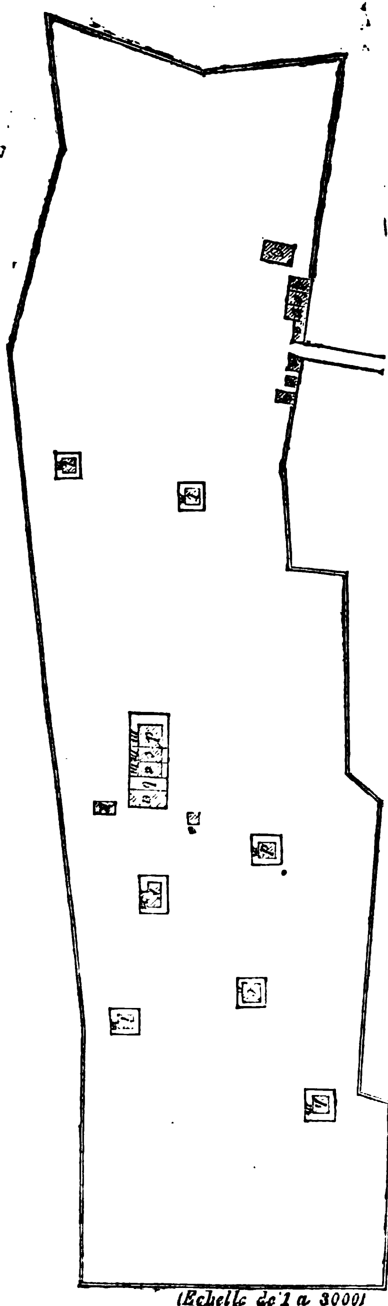
Tel est le but de la présente notice, dans laquelle nous avons à nous occuper d'une explosion de poudre de mine qui occasionna la destruction du séchoir, et des dégâts plus ou moins considérables à tous les ateliers de la poudrière de Grandglise.

Cette fabrique est établie dans une grande sapinière : elle se compose des bâtiments dont la situation est figurée au plan ci-contre (p. 196) et qui sont :

a, Machine à vapeur et chaudière, séparées par le
b, Terre-plein des Moulins *c*.
d, Ancien lissoir reporté en *d'*.
d', Nouveau lissoir.
e, Cheminée.
f, Séchoir.
g, Cribloir.
h, Tamisoir.
i, Blutoir.
k, Pompe à incendie.
l, Magasins à poudre.
m, Murs faibles.
o, Hangars, magasins divers, etc.

Comme on le voit sur le plan, ces différents bâtiments sont distants les uns des autres d'environ 50 mètres ; ils sont en outre protégés par un grand nombre de sapins plantés dans les intervalles.

Le séchoir se compose de trois murs forts d'un mètre d'épaisseur et d'un mur faible de 0^m12. Il est entouré par un mur de 2^m50 de hauteur et 0^m50 d'épaisseur.



La poudre est séchée au moyen de la vapeur perdue de la machine.

Cette vapeur passe dans le réservoir recevant l'eau destinée à l'alimentation, puis, par un tuyau en fonte de 40 mètres de longueur et 0^m14 de diamètre intérieur, placé sous le sol; elle atteint la chaufferie du séchoir, d'où elle s'échappe dans l'atmosphère.

La chaufferie du séchoir se compose d'un serpentin en fonte de 0^m21 de diamètre intérieur, placé sous le plancher dans lequel on a ménagé pour le passage de l'air chaud, des ouvertures correspondant aux piles de tiroirs chargés de poudre.

La différence de diamètre entre le tuyau de conduite et le serpentin a pour but de faciliter la circulation de la vapeur.

Le 8 septembre 1866, vers 8 heures du soir, un orage éclata sur la commune de Grand-

glise, alors que le travail venait d'être achevé, et la foudre vint déterminer l'explosion d'environ 600 kilogrammes de poudre de mine que renfermait le séchoir. Du bâtiment et des murs de clôture, il ne resta pas une pierre. Près de 250 mètres cubes de maçonneries furent lancés dans toutes les directions et détruisirent tout ce qu'elles rencontrèrent sur leur passage; des tronçons de la chaufferie pesant 200 kilogrammes furent retrouvés à 80 mètres de distance. Les toitures des autres ateliers furent en grande partie détruites et les hangars des moulins ébranlés. Quant aux sapins, ils étaient littéralement ravagés suivant des lignes perpendiculaires aux faces du séchoir, tandis que pas un de ceux correspondant aux angles n'avait été atteint : cette circonstance s'explique par le fait, que l'angle de deux maçonneries présente plus de résistance que les côtés.

La marche suivie par l'étincelle électrique était facile à constater : d'abord la cheminée était dégradée sur toute sa hauteur; ensuite une soupape de sûreté, chargée directement de rondelles en fonte contenues dans un cylindre de 0^m70 de hauteur, était projetée avec toute sa charge hors de ce cylindre à 20 mètres de distance ; dans le bâtiment de la machine deux fortes poutres en chêne étaient brisées; enfin, sur tout le parcours, les matières grasses avaient été brûlées, et les robinets étaient pour ainsi dire soudés.

La foudre était donc tombée sur la cheminée, puis avait atteint un tuyau servant à la décharge de la vapeur lorsqu'on nettoie la chaudière, la machine et le réservoir; elle était parvenue au tuyau qui se rend à la chaufferie du séchoir, où elle avait déterminé l'inflammation de la poudre.

Heureusement, on n'a eu à constater que des dégâts matériels; mais, d'après nous, s'ils ont été si considérables, c'est à cause d'un vice de construction : ainsi, généralement, dans l'érection des ateliers des poudrières, on ne tient pas compte de l'état du sol, car le plus souvent on se borne à le recouvrir d'un plancher ou d'argile damée : or, en cas d'explosion, les murs forts résistant, l'effort de la poudre sur le sol peut y produire une excavation qui, se prolongeant en dessous des fondations, doit nécessairement en amener la ruine; dans ce cas, il vaudrait mieux n'avoir que des murs faibles, car il y aurait moins de matériaux projetés, partant, moins de dégâts en dehors du bâtiment atteint.

C'est ce qui est arrivé à Grandglise : on avait placé sur le sol un simple pavement, et encore n'avait-il pour but que de permettre d'aller ramasser la poudre tombée des *tiroirs*. Aussi, quoique le sol fût formé d'un sable très-compacte, s'y est-il produit une excavation de plus de trois mètres de profondeur : ainsi les murs forts qui, par leur résistance et la position du mur faible, avaient pour but de limiter le désastre, ont causé, dans ce cas, la plus grande partie des dommages.

L'accident dont nous venons d'exposer les particularités, démontre que, dans l'intérêt des propriétaires de poudrières et de la sûreté des ouvriers, il faut tenir compte de la résistance du sol, principalement pour les ateliers qui, comme les séchoirs et les magasins, renferment des quantités considérables de poudre. C'est dans ce double intérêt que, lors de la reconstruction du séchoir détruit, nous avons établi sur le sol une voûte de 0^{m}50 d'épaisseur, et que, pour en assurer la solidité, nous avons donné aux fondations des murs forts et faibles une épaisseur de 1^{m}50.

Nous avons pensé que, par ce moyen, le sol et toutes les maçonneries offriraient suffisamment de résistance en cas d'explosion, que le mur faible seul serait détruit, et qu'ainsi les proportions des dommages seraient considérablement réduites.

Examinons maintenant la question de savoir, s'il ne conviendrait pas d'armer de paratonnerres les divers ateliers de cette fabrique.

En se basant sur ces principes : 1° qu'une tige de paratonnerre protége efficacement autour d'elle un espace circulaire d'un rayon double de sa hauteur; 2° qu'il y a plus d'avantage à augmenter le nombre de tiges en les maintenant à 5 mètres de hauteur, et en les reliant entre elles par un conducteur commun, qu'à en réduire le nombre en leur donnant des hauteurs doubles; 3° qu'à cause du pulvérin flottant déposé sur les murs, les paratonnerres doivent être établis en dehors des murs de clôture ; en se basant, disons-nous, sur ces principes, la seule inspection du plan nous fait voir qu'il serait nécessaire de construire au moins 13 paratonnerres : or, on sait que ceux-ci, pour être réellement efficaces, doivent satisfaire à diverses conditions qui en rendent l'établissement coûteux : si donc, lorsqu'il s'agit d'une poudrière ou d'une fabrique dont tous les ateliers, sauf les magasins, sont agglomérés,

on ne doit pas tenir compte de la dépense, (puisque, comme il n'y a qu'un petit nombre de paratonnerres à établir, elle est relativement minime eu égard à la sécurité qu'ils procurent), il n'en est pas de même dans le cas qui nous occupe, où la dépense serait assez considérable.

D'un autre côté, il ne peut être question de se borner à placer des paratonnerres sur la cheminée et les ateliers principaux, car ils seraient une cause de danger : en effet, comme nous l'avons dit plus haut, il est admis qu'un paratonnerre ne protège efficacement qu'un espace circulaire d'un rayon double de la hauteur de sa tige; mais au-delà il y a encore une certaine attraction entre l'électricité du sol et celle du nuage orageux, attraction insuffisante pour qu'elles se réunissent, mais qui peut avoir pour effet de faire tomber la foudre sur un bâtiment voisin.

De plus, il est à observer que ces exemples d'explosion déterminée par la foudre sont extrêmement rares; que, si le séchoir avait été bien construit, il n'y aurait eu que peu de dégâts ; que, si le même accident arrivait dans tout autre atelier, les dégâts seraient encore moindres, puisqu'il renferme moins de poudre; que les sapins, étant beaucoup plus élevés que les bâtiments, les préservent ; qu'enfin, par mesure de prudence, il est de règle qu'en temps d'orage le travail est interrompu, et que les ouvriers se retirent à l'abri de tout danger.

Par ces motifs, nous croyons, que dans ce cas, il n'y a pas lieu d'établir de paratonnerres.

L'autorité supérieure semble avoir été de cet avis, puisqu'après une enquête minutieuse à la suite de l'accident, elle n'en a pas prescrit l'usage dans l'autorisation accordée pour la reconstitution de cet établissement (1).

---

(1) Il n'est pas sans utilité de rappeler ici les travaux de l'Académie des sciences de Paris, sur cet objet. La question avait été soumise à ce corps savant par le ministre de la guerre ; à la suite d'une chute de la foudre sur le paratonnerre d'un magasin à poudre à Béthune, le ministre écrivait à l'Académie :

« Il devient indispensable d'être fixé définitivement sur les meilleures disposi-
» tions à adopter pour préserver des atteintes de la foudre, les magasins à
» poudre, dont l'explosion amènerait des désastres incalculables. »

La question fut examinée par une commission composée de MM. Becquerel,

VI. — Poudrière de Lovegnée, commune de Ben-Ahin (Liége). Explosions des 10 aout 1866 et 31 juillet 1867. — Extrait des rapports de M. le professeur T. Chandelon, a M. le gouverneur de la province de Liége.

L'explosion du 10 août 1866, s'est produite vers les 4 heures de l'après-dîner, dans les circonstances suivantes :

On travaillait dans les deux moulins à meules, établis en vertu de l'arrêté d'autorisation de la députation permanente du 28 mai 1863, du poussier provenant du grenage de la poudre de mine. Au moment où l'ouvrier Jacques Dubois, âgé de 45 ans et employé à la fabrique depuis plus deux ans, était occupé à retrousser les 30 kilog. de matières qui se trouvaient sur la table du moulin *G*, le mélange prit feu et l'explosion qui s'ensuivit renversa la paroi faible de la cage du moulin, emporta la toiture et le pignon faisant face au bâtiment de la chaudière *E*, et les tuiles qui couvraient le moulin, lancées à une grande hauteur, vinrent tomber sur les bâtiments *C*, *D*, *D*, *H'* et *L* dont elles endommagèrent la toiture (1).

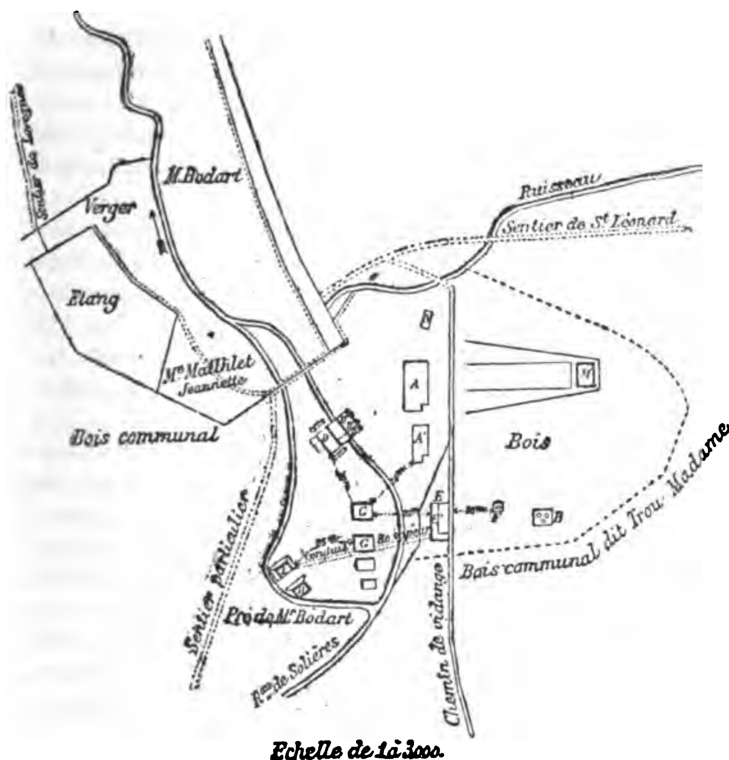
Babinet, Duhamel, Fizeau, Edm. Becquerel, Regnault, le maréchal Vaillant, Pouillet, rapporteur. Cette commission rédigea une instruction sur les paratonnerres des magasins à poudre, laquelle fut lue en séance du 14 janvier 1867 et approuvée par l'Académie. (Voyez compte rendu des séances de l'Académie des sciences de Paris, t. 64, 1er semestre de 1867). (*Note de la Commission.*)

(1) Légende de la fig. 1, qui représente à l'échelle du 1/3000, la disposition des lieux.

A. Bâtiment d'habitation des ouvriers, ateliers de menuiserie, etc.
A'. Magasin aux matières premières, bureau, écurie, etc.
B. Carbonnissoir (chaudières en fonte).
C. Meules à broyer.
D. Grenoir, tamis, 4 tonnes à lisser.
D'. Pilons.
D''. Tonnes à pulvériser le charbon et à mélanger.
E. Chaudière.
E'. Seconde chaudière.
F. Cheminée.
GG. Moulins à meules.
H. Magasin aux poudres vertes.
L. Séchoir.
N. Ateliers d'emballage et de pesage.
M. Magasin.

L'ouvrier Dubois renversé par l'explosion près de la porte *P*, fig. 1, conduisant au compartiment du moteur, se releva aussitôt et courut, les habits en feu, se plonger dans le ruisseau de Solière, qui passe devant le moulin. Il y fut rejoint par le maître ouvrier Jacquet, qui s'empressa de le secourir et constata qu'il était brûlé aux genoux, au ventre et au dos.

Fig. 1.



Echelle de 1 à 3000.

Après avoir reçu les premiers soins du docteur Bihet, accouru sur les lieux du sinistre, le malheureux Jacquet fut transporté à l'hôpital de Huy, où il est mort le lundi 13, laissant trois orphelins.

La toiture et la cage du second moulin *G'* ont été aussi endom-

magées, et l'ouvrier Antoine Lecock qui le desservait en est sorti précipitamment sans autre accident qu'une légère blessure à la tête produite par un éclat de tuile. La cause de l'inflammation est restée inconnue.

Les deux meules en calcaire, pesant ensemble 7,000 kilog. environ, étaient restées en place; seulement la bordure en fonte qui garnissait la meule gisante, ou *table*, pour retenir les matières soumises à l'action des meules verticales, était brisée en trois endroits.

Ces meules, provenant des carrières de la Meuse, étaient loin d'avoir les qualités requises. Ainsi on y a constaté d'abord des filets noirs de *phtanite* (quartz-jaspe-chisteux), qui formaient sur la meule usée des aspérités très-dangereuses par leur grande dureté, ensuite des stries festonnées accusant un défaut de résistance démontré du reste par les six ébréchures qu'on remarquait sur l'arête extérieure de l'une d'elles.

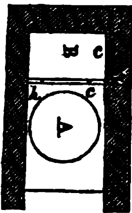
On pourrait donc admettre que l'explosion a été occasionnée par l'action broyante des meules, augmentée ici par la présence des veines de *phtanite*, sur du *poussier* ayant toutes les propriétés inflammables de la poudre, ou bien encore qu'une ébréchure s'étant faite à l'une des meules, le fragment de calcaire, sous l'action écrasante du moulin, aura produit un échauffement suffisant pour amener l'inflammation de la matière en travail.

Cette dernière hypothèse paraît cependant moins admissible que la première; car il y a lieu de supposer que l'ouvrier qui, pour s'assurer de la marche de l'opération, suit constamment le mouvement des meules et détache avec sa palette de bois la composition y adhérente, se serait empressé d'écarter cette cause de danger.

Quoi qu'il en soit le travail du *poussier* ne paraît pas s'être fait avec toute la prudence que réclament ces périlleuses opérations. Au lieu d'humecter ce mélange ternaire dans une maie et de le pétrir à la main pour en faire une masse homogène avant de l'étendre le plus également possible sur la table du moulin, on l'y aura placé tel qu'il sort de l'atelier du grenage, et l'on se sera contenté de l'arroser légèrement au risque d'y laisser des parties sèches et conséquemment faciles à s'enflammer.

L'explosion dont il s'agit n'est pas la seule qui se soit produite le 10 août, et les dégâts considérables constatés dans le compar-

Fig. 2.



timent *B*, fig. 2, où se trouve logée la petite machine à vapeur qui met les meules en mouvement, ne peuvent être attribués qu'à une seconde explosion occasionnée par l'inflammation de la galette d'un travail précédent, que l'ouvrier aura déposée dans un coin marqué au croquis fig. 2, sous la lettre *C*. En effet on a remarqué dans le mur fort *C'* une profonde excavation sur toute la hauteur, avec de fortes lézardes, et l'une des pièces en fonte de la machine brisée à 30 centimètres environ du sol, alors que le mur séparatoire était restée parfaitement intact.

On est autorisé à croire que le feu, en passant du compartiment *A* au compartiment *B* par l'ouverture *O*, traversée par la tige qui sert à arrêter ou à mettre la machine en mouvement, s'est communiqué à la main contenant la galette qui aurait dû être emportée avant que le moulin fût rechargé. Au surplus l'ouvrier Antoine Lecock a déclaré avoir entendu deux explosions successives et très-rapprochées.

Explosion du 31 *juillet* 1867. — Le samedi, 27 juillet, l'on avait arrêté les travaux de la poudrière pour nettoyer la chaudière. Le surlendemain, profitant de ce temps d'arrêt, le sieur Jean-Aubert Louis, âgé de 65 ans, maître-charpentier et employé à la fabrique depuis plus de 25 ans, fut chargé avec son fils Toussaint et le sieur Pierre-Joseph Brumagne, âgé de 34 ans, ouvrier au séchoir, d'enlever et de remplacer trois ou quatre planches dégradées du plancher de cet atelier, et en outre de recouvrir de lames de zinc les fentes qui s'y étaient formées.

Ces ouvriers étaient sur le point de terminer ce travail, lorsque, le mercredi, vers les trois heures et demie (les sieurs Louis, père et Brumagne étant restés seuls dans le séchoir), une explosion se produit, enlève toute la toiture, renverse les deux murs faibles, déplace les tuyaux à vapeur et ne laisse debout que les deux murs forts qui préservent les ateliers avoisinants.

Cette explosion ayant déterminé l'incendie du bâtiment, jeta l'épouvante parmi les ouvriers qui prirent la fuite et ne revinrent que sur les instances du directeur et du maître-ouvrier. Le seul Brumagne était sorti du séchoir entièrement nu et couvert de fortes brûlures qui amenèrent sa mort pendant la nuit. Quant au

maître charpentier, on a retrouvé son cadavre sous des poutres entièrement carbonisées.

D'après les affirmations du directeur, le séchoir était vidé, et les ouvriers avaient eu soin d'arroser fortement le plancher pendant leur travail. Ils avaient retiré de dessous les trois ou quatre planches à remplacer environ 80 kilog. de poudre qui s'y était glissée par les fentes ; il pouvait y en avoir sous les autres parties du plancher environ 150 kilog. dont la combustion a causé la destruction de l'atelier.

Quant à la cause de l'inflammation de cette poudre, il a été impossible de la découvrir. A-t-elle été le résultat d'un choc brusque de marteau pendant qu'on s'occupait à fixer les planches neuves où les bandes de zinc? C'est ce qu'il a été impossible de savoir. Les marteaux qu'on a retrouvés étaient en laiton ; le plus gros ne pesait qu'un demi kilog. et les clous étaient en fer étamé.

Quoi qu'il en soit, l'accident prouve que ce n'est pas sans raison que les arrêtés d'autorisation prescrivent que le sol des ateliers dangereux soit formé d'une couche d'argile fortement battue ou d'un plancher bien assemblé qui ne présente ni fentes ni crevasses dans lesquelles de la poudre puisse se glisser.

DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

MACHINES A VAPEUR.

Machines à vapeur. — Accidents.

En exécution de l'article 51 de l'arrêté royal du 21 avril 1864, le Ministre des travaux publics fait connaître qu'il est arrivé, dans le royaume, pendant l'année 1870, sept accidents aux machines à vapeur.

Le tableau ci-contre fait connaître les causes et les effets de ces accidents.

Bruxelles, le 16 février 1871.

A. Wasseige.

Machines à vapeur. – Ac

NUMÉROS D'ORDRE.	DATE de L'EXPLOSION.	Nature et situation de l'établissement où l'appareil était placé. *P.* Nom des propriétaires de l'appareil. *C.* Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, FORME ET DESTINATION DE L'APPA *Détails divers.*
1	29 mars.	Puits Sainte-Agnès du charbonnage de la Réunion, à Gilly. *P.* Société de la Réunion, à Gilly. *C.* Société anonyme de Châtelineau, à Châtelineau.	La chaudière servait, avec trois l'alimentation des machines d'extrac d'aérage. Construite en 1861 et autoris marcher à une pression maximum de mosphères, elle avait une longueur d sur 1^m40 de diamètre.
2	16 nov.	Hauts fourneaux, à Monceau-sur-Sambre. *P.* Société anonyme des hauts-fourneaux de Monceau-sur-Sambre. *C.* Inconnu; le tube intérieur était un ancien tube bouilleur, que l'on avait adapté à la chaudière en 1868.	La chaudière était cylindrique, à gèrement bombés, et pourvue d'un t rieur de 0^m60 de diamètre et de 15 gueur; elle était chauffée au moyen d de gaz aux hauts-fourneaux. L'épaiss tôles du tube était de 8^{mm} et la pres torisée de 4 atmosphères; elle n'avai mise en service qu'en septembre 18 avoir été éprouvée.
3	29 juin.	Moulin à farine, à Wasmes. *P.* Maximilien Cailleau. *C.* Inconnu.	La chaudière était munie d'un tub feur de 5^m00 de longueur sur 0^m70 de réuni au corps cylindrique par une s munication. La pression autorisée atmosphères. L'appareil paraît avoir struit vers 1859 et fonctionnait chez Cailleau depuis 1860.
4	19 juillet.	Fabrique de fer de Grivegnée. *P.* Société anonyme de Grivegnée. *C.* Même société.	Chaudière cylindrique à bouts bom dôme, placée en dessous du sol de chauffée par la flamme perdue d'un chauffer. Elle fournissait la vapeur au nes motrices.
5	10 janv.	La machine se trouvait dans la station de Bruges, prête à être attelée à un train de voyageurs en destination pour Courtrai. Elle appartenait à la Société générale d'exploitation de chemins de fer et avait été construite par England et Cie, à Londres.	Locomotive à quatre roues mou plées, de 1^m83 de diamètre, à cylin rieurs servant à la traction des train geurs sur les lignes de la Flandre

pendant l'année 1870.

EXPLOSION.

CIRCONSTANCES.	SUITES.	CAUSE PRÉSUMÉE.
...issement semblable à ce-... produit la vapeur s'échap-... joint mal fait se fit en-... au bout de quelques ... l'explosion eut lieu ; la ...érieure de la chaudière, ...e du tronçon correspon-... la première tôle et de ...ité hémisphérique, a été ..., projetée à 8m00 et divi-...eux fragments.	Les dégâts ont été sans importance; une petite fille, qui travaillait à 20m00 de la chaudière, a été contusionnée.	Mauvaise qualité de la tôle, qui était mal soudée, et diminution d'épaisseur.
...e intérieur s'est déchiré, ... complétement écrasé.	Deux ouvriers, qui se chauffaient au foyer de cette chaudière, ont été atteints de brûlures; l'un est mort le lendemain; l'autre est guéri. Les maçonneries de la chaudière ont été en partie démolies.	Défaut de résistance à l'écrasement présenté par le tube intérieur; ce défaut provenait tant du système de construction adopté que de la mauvaise qualité d'une partie des tôles.
...ment où on allait mettre ...e en marche, vers 6 ... matin, la tôle posté-... tube, qui ne présentait ... certains points, que ... millimètres d'épaisseur, ...hirée et a livré passage ... à la vapeur.	Quelques dégâts matériels sans importance ont eu lieu; un ancien ouvrier, étranger à l'établissement, qui se trouvait sans motif sur le massif de la chaudière, a été blessé mortellement.	Amincissement de la tôle, causé par une fuite d'eau inaperçue, qui a rongé le métal.
...sion a eu lieu dans le ...ulier du chauffage ha-... paration de la chaudière ... parties : une section de ...eur d'une seule tôle au ... deux gros tronçons. ...rieur, l'autre postérieur, ...acun 2,300 à 2,500 ki-...es environ.	Sept ouvriers brûlés, dont quatre ont succombé. Bouleversement de l'entourage du générateur; projection des tronçons antérieur et postérieur à 50 et à 200 mètres. Destruction partielle des toitures. Avaries peu graves à quelques appareils de l'usine.	Corrosion extérieure de la paroi suivant une génératrice correspondant à l'un des appuis de la chaudière sur les maçonneries du fourneau. Cette corrosion a probablement été déterminée par des fuites d'eau qui se répandaient dans une espèce de gargouille que la maçonnerie formait au contact de l'appareil. La séparation de celui ci en trois parties doit être attribuée aux effets de réaction qui se sont produits à la suite de la déchirure suivant cette génératrice.
... comprenant le foyer a été ... corps cylindrique de la ... lancée latéralement, à une ... 30m00, sur un waggon en ... dans la station. ... latérales, en cuivre, de ce ... tordues du dedans au de-... plafond en a été détaché et a ... fiché en terre, à quelques pas ... Le corps cylindrique de la ... est tombé à peu de distance du lieu de l'accident et divers organes ... ont été lancés à de grandes distances dans tous les sens.	Le chauffeur, qui se trouvait sur le tender, a été tué. Le mécanicien, placé sur le sol, à côté de la machine, a été assez grièvement blessé et quelques employés circulant dans la station ont été contusionnés.	Les véritables causes de l'accident sont restées ignorées. Le boulon fusible, fixé dans le ciel du foyer, ayant été retrouvé dans un des débris de la chaudière, le défaut d'alimentation de celle-ci ne peut pas être présumé. On peut supposer que les armatures et les liens rattachant les diverses parties de la machine auront été insuffisants.

Machines à vapeur. — Ac

NUMÉROS D'ORDRE.	DATE de L'EXPLOSION.	Nature et situation de l'établissement où l'appareil était placé. *P.* Nom des propriétaires de l'appareil. *C.* Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, FORME ET DESTINATION DE L'APPA *Détails divers.*
6	**14 avril.**	**Filature de lin et d'étoupes, située avenue de la Toison d'Or, n° 16, à Saint-Gilles, lez-Bruxelles.** ***P.* Société linière de Bruxelles.** ***C.* Société de Haine-Saint-Pierre (Hainaut).**	**Chaudière cylindrique, à fonds bom 13m40 de longueur sur 1m30 de diamè nie de deux tubes réchauffeurs de longueur et 0m80 de diamètre, placés sous.** **La grille est disposée directement chaudière.** **La chaudière est destinée à fournir, remment avec cinq autres appareils de dimensions, la vapeur aux machines de l'établissement.** **Elle est timbrée à six atmosphères.**
7	**13 déc.**	**Meunerie, quai de la Pêcherie, à Gand.** ***P.* Edmond Bracq et Cie, à Gand.** ***C.* Joseph Staelens, à Gand.**	**Chaudière horizontale cylindriq bombés, munie de cinq tubes bouilleu tube réchauffeur placé dans un des latéraux.**

...rvés pendant l'année 1870. (SUITE).

EXPLOSION.

CIRCONSTANCES.	SUITES.	CAUSE PRÉSUMÉE.
L'explosion a eu lieu pendant ...marche des machines, à 4 h. ...m. du soir. La pression dans la chaudière ...ait de six atmosphères. Tous ...s appareils de sûreté étaient ...bon état. Lors de l'explosion, ...se produisit un bruit singulier, ...ribué plus tard au sifflement ...la vapeur s'échappant par une ...ure, et suivi d'une forte déto... ...tion.	Le bâtiment des chaudières fut presque complétement détruit et la charpente brûlée. La plaque en fonte fut trouvée brisée, une partie devant le foyer, une autre à 20m00 de là ; le fond bombé fut lancé à l'étage du bâtiment vis-à-vis et la calotte cylindrique ou chapeau au rez-de-chaussée de ce bâtiment, à 13m00 de distance. Immédiatement après l'explosion, cinq personnes furent trouvées mortes : quatre hommes devant les foyers, une femme dans le bâtiment en face; sept autres personnes, atteintes dans ce bâtiment par l'eau chaude et la vapeur, succombèrent à leurs brûlures.	La cause de l'accident est attribuée à une déchirure du fond bombé de la chaudière. Il fut constaté que cette tôle était de mauvaise qualité ; en plusieurs endroits, elle présentait deux ou trois feuillets non soudés entre eux.
L'appareil fut mis à feu le ma... ...vers 11 heures et servit à ali... ...ter les moteurs vers 4 heures ...soir. Après avoir fait fonction... ...les moteurs pendant environ ...demi-heure, le chauffeur crut ...portun d'alimenter le réchauf... ...r et les autres parties de ...pareil. L'alimentation s'est faite avec l'eau de condensation de l'un ...moteurs. ...ce moment, eut lieu une ex... ...ion sourde; le tube réchauf... ...creva, la déchirure com... ...ça à la couture circulaire, im... ...iatement voisine du tube d'a... ...tation. Elle se continua vers ...rémité postérieure du ré... ...ffeur, le long de la couture ...ontale, sur une longueur ...iron 2m00, après laquelle ...remonta de quelques centi... ...es. ...partie de la tôle ainsi déga... ...se souleva de manière à pré... ...r une ouverture de 0m50 en... ...b	La voûte du carneau, qui contenait le réchauffeur, fut soulevée ; le mur qui le fermait vers l'avant de l'appareil fut renversé, tuant sous les décombres un ouvrier étranger à l'usine qui se chauffait ; deux manœuvres de l'usine reçurent des brûlures; le chauffeur, qui faisait manœuvrer la pompe et se trouvait au-dessus des générateurs voisins, se blessa à la tête en tombant sur le sol. La maçonnerie, qui enveloppait tout l'appareil et soutenait un réservoir, fut totalement disloquée et dut être immédiatement démolie.	Les dispositions adoptées pour l'installation du tube réchauffeur permettaient la formation, à l'intérieur, de chambres d'air et de vapeur qui se vidaient difficilement ; de là, un rougissement ou, tout au moins, un surchauffement considérable possible de la paroi supérieure du réchauffeur, de nature à occasionner une explosion au moment où le chauffeur fit fonctionner la pompe d'alimentation. Il ne paraît pas toutefois, d'après l'inspection d'un fragment de la tôle qui s'est déchirée, que cette tôle ait rougi ; l'on est porté à croire qu'aux causes d'explosion possibles qui viennent d'être indiquées doit s'ajouter cette circonstance, qui l'aurait expressément déterminée : qu'après le remplissage de la chaudière et du tube réchauffeur, les robinets qui mettent ce tube en communication, d'une part, avec le réservoir supérieur et, d'autre part, avec la chaudière, auraient été fermés, ce qui aurait permis à la vapeur formée dans le réchauffeur d'acquérir une forte pression, qui, ajoutée à celle produite par la pompe foulante, aurait déterminé le déchirement des tôles et les accidents qui en ont été la suite.





VOYAGE

AUX

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

RAPPORT

A

M. LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS;

PAR

M. Gustave SCHORN,

INGÉNIEUR DES MINES.

L'institution des chemins de fer est à peu près aussi ancienne aux États-Unis qu'en Angleterre ; depuis assez longtemps déjà, il y existait de petits chemins de fer destinés seulement à des transports locaux et particuliers, tels que le chemin de fer automoteur de Mauch-Chunk, établi pour relier les mines d'anthracite au canal, et le chemin de fer de Quincy, qui desservait les carrières de granit. C'est à Baltimore que prit naissance la première entreprise d'un chemin de fer destiné au service du public ; la Compagnie du Baltimore-Ohio, constituée en 1827, commença ses travaux en 1828; l'inauguration de la ligne, construite seulement sur un mille (1600 mètres) de longueur, eut lieu en 1830 ; deux ans après, cent-dix kilomètres étaient livrés à l'exploitation. A peu près en même temps, on construisait dans l'État de New-York le chemin de fer Mohawk et Hudson, inauguré en 1831.

Au commencement, la traction sur ces chemins de fer se faisait au moyen de chevaux; dès 1831, on fit des essais pour remplacer les chevaux par des locomotives; ces essais eurent lieu en même temps sur la ligne du Baltimore-Ohio, au moyen d'une locomotive américaine construite par M. Peter Cooper, et sur le Mohawk et Hudson au moyen d'une locomotive importée d'Angleterre. Dans les deux cas, les résultats obtenus ne furent pas complétement satisfaisants; ils le furent assez, cependant, pour établir la possibilité de l'emploi de la locomotive, qui dès lors put être considérée comme introduite sur les chemins de fer américains.

Les premiers entrepreneurs de chemins de fer trouvèrent immédiatement des émules; les Américains, avec leur esprit pratique, ne pouvaient manquer de saisir l'importance de ce nouveau mode de transport pour leur pays, si largement doté sous le rapport des richesses naturelles, et où les moyens de communication étaient encore si insuffisants. On ne se laissa pas décourager par l'insuccès financier de la plupart des premières entreprises, et le réseau de chemins de fer s'accrut suivant une progression rapide; on en jugera par les chiffres ci-dessous, qui représentent l'étendue des lignes en exploitation pour chaque année, de 1835 à 1867.

ANNÉES.	KILOMÈTRES EN EXPLOITATION.	ANNÉES.	KILOMÈTRES EN EXPLOITATION.	ANNÉES.	KILOMÈTRES EN EXPLOITATION.
1835	1,767	1846	7,935	1857	39,441
1836	2,049	1847	9,010	1858	43,399
1837	2,409	1848	9,649	1859	46,330
1838	3,079	1849	11,852	1860	49,301
1839	3,705	1850	14,517	1861	50,300
1840	4,537	1851	17,673	1862	51,691
1841	5,689	1852	20,773	1863	53,380
1842	6,479	1853	24,719	1864	54,568
1843	6,735	1854	26,907	1865	56,623
1844	7,044	1855	29,569	1866	59,571
1845	7,456	1856	35,432	1867	63,155

Il est assez curieux d'observer l'influence exercée sur le développement des chemins de fer dans chaque partie du pays par le caractère de la population et les conditions d'existence dans lesquelles elle se trouvait.

Les États qui composent l'Union américaine se divisent naturellement en plusieurs groupes présentant des caractères bien tranchés.

Les six États du Nord-Est, désignés encore aujourd'hui sous le nom collectif de Nouvelle Angleterre, ont été le siége des premiers établissements anglais; les ressources naturelles y sont moins abondantes que dans les autres parties du territoire, mais les habitants y ont suppléé par leur industrie, et la population de ces États, si on en retranche les trois États les plus septentrionaux, est proportionnellement plus grande que dans tout le reste de l'Union.

Dans les États du Centre, on trouve en abondance les combustibles minéraux et les minerais de fer; ces États sont devenus le siége de la grande industrie, et c'est là

que le développement des voies ferrées est le plus grand, eu égard à l'étendue du territoire.

Les États de l'Ouest sont aussi très-richement doués, tant sous le rapport des minéraux utiles que sous celui de la fertilité du sol ; à cause du grand éloignement des côtes, la colonisation y est encore peu avancée, mais progresse avec une énergie incroyable ; pour en donner une idée, il suffit de citer l'exemple de la ville de Chicago (État de l'Illinois) ; érigée en commune en 1837, avec une population de 4,170 habitants, elle en comptait en 1864 près de 170,000 ; de 1860 à 1864, l'accroissement annuel a été de plus de 10 p. %, et a suivi depuis à peu près la même progression. Aussi n'est-il pas étonnant que dans ces pays les chemins de fer se soient rapidement développés.

Les États du Sud et ceux de la côte du Pacifique, forment deux autres groupes : les premiers sont principalement agricoles ; la population y est assez considérable, mais elle était, il y a peu d'années encore, composée en majeure partie d'esclaves ; il faut ajouter que ces États ont été ruinés par la guerre civile ; ils ne sont cependant pas trop en arrière des autres au point de vue des chemins de fer.

Quant aux États du Pacifique, à part quelques villes florissantes, ils sont encore à peu près à l'état de désert ; la population n'y est que de 63 habitants en moyenne par myriamètre carré.

Voici, pour chacun de ces cinq groupes, un relevé du développement du réseau ferré, comparé à la population et à l'étendue du territoire ; ce relevé se rapporte à l'année 1867 ; j'y indique aussi les États qui possèdent la plus grande et la plus petite longueur de chemins de fer, eu égard à la population et à la superficie. Ces chiffres, ainsi que ceux qui précèdent, sont extraits de l'excellent annuaire de M. H.-W. Poor « *Manual of the rail-roads of the United States.* »

DÉSIGNATION DES GROUPES D'ÉTATS.	SUPERFICIE EN MYRIAMÈTRES CARRÉS.	POPULATION.	ÉTENDUE des CHEMINS DE FER en kilomètres.	KILOMÈTRES de CHEMINS DE FER par myriamèt. carré.	par mille habitants.
Nouvelle Angleterre (1).	1,685	3,320,000	6,337	3,762	1,909
États du Centre (2)	3,565	9,710,000	15,372	4,313	1,583
États de l'Ouest (3).	15,560	11,480,000	24,503	1,575	2,134
États du Sud (4).	15,902	10,360,000	16,249	1,022	1,569
États du Pacifique (5).	10,265	650,000	694	0,068	1,068
ENSEMBLE.	46,977	35,520,000	63,155	1,344	1,778
Maximum par superficie (Massachussetts).	202	1,300,000	2,255	11,165	1,735
Minimum id. (Oregon).	2,468	80,000	30	0,012	0,381
Maximum par population (Nebraska).	1,968	125,000	893	0,454	7,145
Minimum id. (Arkansas).	1,352	500,000	61	0,045	0,122

Conditions d'établissement des chemins de fer.

La construction et l'exploitation des chemins de fer, aux États-Unis, sont entièrement abandonnées à l'industrie privée. Dans certains cas, cependant, les États en ont pris l'initiative, alors que l'on voyait clairement l'avantage qui en résulterait pour le public, tandis que les bénéfices à réaliser par l'exploitant étaient moins bien établis ; c'est ainsi que l'État de Michigan a construit le chemin de fer

(1) Maine, New-Hampshire, Vermont, Massachussetts, Rhode-Island, Connecticut.

(2) New-York, New-Jersey, Pennsylvanie, Delaware, Maryland, Virginie occidentale.

(3) Ohio, Michigan, Indiana, Illinois, Wisconsin, Minnesota, Iowa, Nebraska, Kansas, Missouri.

(4) Virginie, Carolines (Nord et Sud), Georgie, Floride, Alabama, Mississippi, Louisiane, Texas, Kentucky, Tennessee, Arkansas.

(5) Californie, Nevada, Oregon.

qui appartient maintenant à la Compagnie du Michigan Sud ; l'État de Pennsylvanie a également construit, moitié par canal, moitié par chemin de fer, une voie de communication traversant tout le territoire de l'Est à l'Ouest, et qui est devenue le chemin de fer Pennsylvanie central; mais les États, propriétaires de chemins de fer, ont toujours saisi la première occasion favorable pour les céder à des Compagnies.

L'établissement des chemins de fer a fréquemment été subsidié par le gouvernement fédéral ; les subsides consistaient généralement en une concession de terrains. Voici, comme exemple de ce système, ce qui a été fait lors de la création du chemin de fer Illinois-Central : cette ligne traverse tout l'Illinois du Nord au Sud, et relie le Mississippi au lac Michigan; mais, avant la construction du chemin de fer, ces contrées étaient à peu près désertes, et ne promettaient guère de bénéfices immédiats à la Compagnie. Pour lui venir en aide, et donner une garantie aux obligataires et aux actionnaires, le gouvernement fédéral concéda à la Compagnie, par l'intermédiaire de l'État de l'Illinois, une vaste étendue de terres publiques, s'élevant à six milles carrés par mille de voie ferrée ; la distribution de ces terrains se faisait de la manière suivante : les terres publiques sont divisées en *sections* carrées d'un mille de côté (260 hectares), limitées par des méridiens et des parallèles ; la Compagnie entrait en possession des sections alternantes (*alternate sections*, c'est-à-dire correspondant aux cases de même couleur d'un damier), situées dans un rayon de six à quinze milles de chaque côté de la voie, jusqu'à concurrence de la superficie indiquée plus haut ; plus tard, le rayon fut porté à vingt milles (32 kilomètres). Le gouvernement restait propriétaire de l'autre moitié des sections, enchevêtrées dans les terres de la Compagnie, et profitait ainsi de la plus value conférée aux terrains par la création du chemin de fer. En échange de cette conces-

sion, la Compagnie devait payer à l'État de l'Illinois une redevance égale à 7 °/₀ des recettes brutes de la ligne.

A une époque récente (1862-1864), le congrès des États-Unis est intervenu d'une manière beaucoup plus large encore dans la création du chemin de fer trans-continental, dit du Pacifique, inauguré l'année dernière.

En premier lieu, le gouvernement octroyait aux compagnies, indépendamment des terrains nécessaires à la construction et à l'exploitation de la ligne, toutes les sections alternantes de terres, d'un mille carré de superficie, comprises dans un rayon de vingt milles de chaque côté de la voie, c'est-à-dire vingt milles carrés par chaque mille de chemin de fer. Cette concession comprend en tout 8,900,000 hectares pour les 2,770 kilomètres formant l'ensemble de la ligne, d'Omaha à Sacramento.

En second lieu, le gouvernement garantissait par des titres de la dette publique un emprunt à 6 p. °/₀, à émettre à mesure de l'achèvement de chaque section de voie de vingt milles de longueur. Le chiffre total de cet emprunt était de près de deux cent millions de francs; il était calculé sur la base de seize mille, trente-deux mille et quarante-huit mille dollars respectivement, par mille de chemin de fer, suivant les difficultés de construction que présentaient les diverses parties.

Enfin les compagnies étaient autorisées à émettre, jusqu'à concurrence de l'emprunt garanti par le gouvernement, des obligations privilégiées ayant le pas même sur la créance du gouvernement.

Les formalités pour l'établissement des chemins de fer sont à peu près les mêmes que dans notre pays; les compagnies sont constituées par un acte de la législature de l'État ou des États que la ligne doit traverser; cet acte fixe le capital social, approuve les statuts de la compagnie et le tracé de la ligne, et contient un cahier des charges relatif à l'administration et à l'exploitation.

La plupart des États ont promulgué des lois générales sur les chemins de fer ; une des principales dispositions de ces lois a rapport aux expropriations : toute compagnie de chemin de fer régulièrement constituée a le droit de pénétrer sur n'importe quel terrain pour ses études et nivellements et de s'approprier tout le terrain qui lui est nécessaire ; en cas de non-entente avec le propriétaire, l'indemnité à allouer à celui-ci est fixée par une commission ou par un jury, désignés par le pouvoir judiciaire.

Souvent, les mêmes lois, ou les actes de concession, portent des dispositions limitant les tarifs ; assez fréquemment aussi, elles fixent la largeur de la voie et le *maximum* de vitesse des trains; quelquefois elles contiennent diverses prescriptions en vue de la sécurité des voyageurs, concernant, par exemple, le passage à niveau sur des routes ou sur d'autres chemins de fer.

De la liberté presqu'absolue laissée aux entreprises particulières, il est résulté que dans beaucoup de cas les chemins de fer ont été construits à peu près au hasard, sans vue d'ensemble, mais la pratique n'a pas tardé à corriger ce défaut. La plupart des petites lignes formant des tronçons isolés se sont fusionnées, ou bien ont été rachetées ou prises en location par de grandes compagnies ; aujourd'hui l'on voit partout des réseaux bien tracés, jouissant d'un trafic important et régulier. Peut-être même est-on allé un peu loin dans la voie de la concentration ; il est permis de le croire quand on voit la puissance exorbitante à laquelle sont arrivées certaines compagnies, et qui se trouve à la disposition d'un petit nombre d'hommes.

Exploitation des chemins de fer.

Dans mon voyage aux États-Unis, je me suis mis en relation avec les administrations de plusieurs grandes lignes de chemins de fer ; j'ai profité de l'excellent accueil

que j'ai reçu partout (1) pour étudier aussi complétement qu'il m'a été possible les principaux éléments des diverses branches du service; je vais exposer les renseignements qui m'ont paru présenter le plus d'intérêt, parmi ceux que j'ai recueillis. Je parlerai d'abord du matériel roulant, puis de la construction de la voie; enfin je dirai quelques mots de l'organisation générale du service.

Matériel roulant.

Indépendamment des ateliers de réparation nécessaires à l'entretien du matériel, presque toutes les grandes compagnies possèdent des ateliers où elles construisent elles-mêmes la majeure partie de leurs locomotives et de leurs wagons; il se montre même une tendance de plus en plus prononcée à annexer aux chemins de fer les fabrications les plus diverses.

C'est ainsi que la Compagnie du Baltimore-Ohio a établi à Mount-Clare (Baltimore), un vaste établissement où l'on fait des locomotives et des wagons; tous les objets qui entrent dans la construction et dans l'équipement du matériel y sont fabriqués, jusqu'aux horloges dont chaque locomotive est munie. Les ponts métalliques, que l'on établit en grand nombre sur la ligne en remplacement des vieux ponts de bois, y sont aussi construits, ainsi que les pièces du matériel fixe, telles que éclisses, pièces de croisement, etc. Enfin, tout le fer en barre nécessaire à ces divers usages est laminé dans l'établissement même, en employant comme matière première des mitrailles de diverses natures; la production en fer laminé s'élève à plus de deux cents tonnes par mois.

(1) Je me plais à rendre ici hommage à l'obligeance parfaite de toutes les personnes avec lesquelles je me suis trouvé en rapport dans mon voyage; je voudrais pouvoir citer leurs noms, mais la liste en serait trop longue; je dois donc me borner à leur exprimer collectivement ma vive et sincère gratitude.

Les Compagnies de l'Illinois-Central, du Pennsylvanie Central, de Philadelphie-Reading, ont également de grands ateliers de construction de locomotives très-bien outillés, ainsi que des ateliers pour la construction des wagons; parmi ces derniers, je citerai notamment celui de la Compagnie de Reading, qui est d'une très-belle disposition, et où se trouvent un grand nombre de machines pour le travail du bois. La Compagnie de Reading a aussi établi, il y a deux ans, un laminoir pour la fabrication de tous les rails qui lui sont nécessaires.

En dehors des ateliers des Compagnies, il existe un grand nombre d'établissements indépendants pour la construction du matériel. Parmi les fabriques de locomotives, une des plus importantes, sinon la plus importante, est celle de Baldwin et Cie, à Philadelphie. Ce vaste établissement, que j'ai visité avec beaucoup d'intérêt, est monté au capital de 2,500,000 dollars (équivalant, au pair, à près de treize millions de francs); au commencement de 1869, treize cents ouvriers y étaient occupés; il en sortait seize locomotives par mois, et on travaillait à des agrandissements qui devaient permettre de livrer une locomotive par jour, à partir du mois de juillet 1869.

Machines locomotives.

Les locomotives des différents chemins de fer présentent une assez grande variété de forme et de dimensions; les trois types suivants prédominent généralement :

1° Machine à voyageurs, à quatre roues accouplées; l'avant repose sur un truck ou train articulé à quatre roues (fig. 1, pl. IV).

2° Machine à marchandises, ou mixte (fig. 2 et 3, pl. IV), à six roues accouplées, avec un truck à deux ou à quatre roues à l'avant.

3° Machine pour fortes rampes, (fig. 4 et 6, pl. IV), à

huit roues accouplées, généralement sans roues portantes; quelquefois l'avant de la machine est supporté par un truck à deux roues.

Les machines de chacun de ces types sont appliquées, du reste, à divers genres de service; les machines à quatre roues motrices sont souvent employées à la traction des trains de marchandises, surtout sur les lignes d'un profil peu accidenté; sur les rampes, les trains de voyageurs sont souvent remorqués par des machines à six roues couplées.

Les machines à huit roues motrices servent ordinairement de machines d'allège; elles sont aussi employées pour la traction des trains sur les rampes.

Les manœuvres dans les gares sont faites, ou par de vieilles machines, ou par des machines à quatre ou à six roues motrices, sans roues portantes, construites spécialement pour cet usage.

Voici quelques détails sur le matériel de traction des chemins de fer que j'ai eu l'occasion de voir de près.

Chemin de fer Illinois-Central.

La ligne traverse des pays de plaines où la plus forte rampe est de 8 millimètres par mètre. Le nombre total de locomotives en 1868 était de 168, toutes à quatre roues accouplées; les machines pour le service des gares n'ont pas de roues portantes; les autres ont à l'avant un truck à quatre roues.

Les dimensions sont les suivantes :

Pour les machines à voyageurs : roues motrices, $1^{m}52$ à $1^{m}68$ de diamètre; cylindres : $0^{m}34$ à $0^{m}38$ de diamètre, $0^{m}56$ de course.

Pour les machines à marchandises : roues motrices de $1^{m}47$ à $1^{m}60$; cylindres : $0^{m}38$ à $0^{m}41$ de diamètre, $0^{m}56$ à $0^{m}61$ de course.

Pour le service des gares : roues motrices de 1ᵐ09, cylindres de 0ᵐ32 de diamètre sur 0ᵐ56 de course.

Les chaudières ont 1ᵐ09 à 1ᵐ19 de diamètre au corps cylindrique ; elles sont garnies de 165 à 173 tubes à fumée de 51 millimètres de diamètre ; leur surface de chauffe totale est d'environ 100 mètres carrés.

Les chaudières des machines à marchandises sont généralement un peu plus fortes que celles des machines à voyageurs ; du reste, il n'y a pas de délimitation bien tranchée entre les deux classes.

Le poids des locomotives ne dépasse guère 27 tonnes ; la charge par essieu moteur est de 8 tonnes au *maximum*.

Jusque dans ces dernières années, on employait le bois comme combustible, mais actuellement on se sert presque exclusivement de charbon de terre ; l'Illinois produit de la houille grasse de bonne qualité, qui revient à fr. 6.35 les mille kilogrammes, chargée à wagons ; il faut ajouter à ce prix le coût d'un transport de 300 kilomètres, depuis les mines jusqu'à Chicago.

Le changement de combustible n'a entraîné aucune modification dans la construction des machines, si ce n'est que le foyer doit être moins profond pour brûler la houille que pour brûler du bois.

La vitesse normale, en pleine marche, est de 24 kilomètres à l'heure pour les machines à marchandises, de 45 à 48 kilomètres pour les machines à voyageurs. La charge à remorquer par les machines à marchandises est fixée, suivant leur force, pour les trains de jour, de vingt-cinq à trente wagons, pour les trains de nuit, de vingt à vingt-cinq wagons. Les wagons pèsent à vide 7,000 à 9,000 kilogrammes, et chargent 9,000 kilogrammes.

Chemin de fer Michigan-Sud.

Ce chemin de fer ne présente pas non plus de fortes

rampes; on n'y emploie que des locomotives à quatre roues couplées, avec truck; elles pèsent de 17 à 37 tonnes; les roues motrices ont 1^m22 à 1^m68 de diamètre; les dimensions adoptées pour les cylindres sont 0^m36, 0^m38 et 0^m41 de diamètre, 0^m56 et 0^m61 de course.

Chemin de fer Chicago-Nord-Ouest.

La plupart des machines sont à quatre roues motrices, de 1^m37 à 1^m83 de diamètre, avec truck; les cylindres ont 0^m38 à 0^m41 de diamètre, 0^m56 à 0^m61 de course; le poids total est de 25 à 29 tonnes.

Il y a en outre cinq machines qui ont trois paires de roues accouplées et un truck à quatre roues. Ces machines pèsent 32,000 kilogrammes; leurs roues motrices ont 1^m37 de diamètre et les cylindres 0^m46, sur 0^m56 de course. Elles remorquent sur niveau quatre-vingt-cinq wagons chargés.

Chemin de fer Pennsylvanie-Central.

La ligne présente des rampes prononcées dans la traversée des monts Alleghany et sur certains embranchements.

Les machines en service vers la fin de 1868 étaient au nombre de quatre cent-vingt, réparties comme suit quant au nombre de roues motrices :

à quatre roues . . .	164
à six roues.	252
à huit roues	4
	420

Voici les principales dimensions pour chaque classe de machines :

Machines à voyageurs (fig. 1, pl. IV) : quatre roues motrices, de 1^m68 de diamètre, avec un truck à quatre roues;

cylindres de 0^{m}43 de diamètre, et 0^{m}61 de course. Diamètre du corps de la chaudière : 1^{m}27; nombre de tubes à fumée : 142, du diamètre de 57 millimètres; surface de chauffe : 86 mètres carrés. La charge sur le truck est de douze tonnes, sur l'essieu d'avant, onze tonnes, sur l'essieu d'arrière, dix tonnes, en tout 33,000 kilos.

Machines à marchandises : six roues couplées de 1^{m}22 à 1^{m}52 de diamètre; un truck à quatre roues (fig. 2), ou à deux roues (fig. 3). Diamètre des cylindres 0^{m}43 à 0^{m}46, course des pistons : 0^{m}56 à 0^{m}61. Les chaudières ont de 1^{m}20 à 1^{m}27 de diamètre au corps, avec 198 tubes de 50 millimètres, ou 103 de 64 millimètres de diamètre; la surface de chauffe varie de 90 à 110 mètres carrés. Le poids total de ces machines est de 32 à 35 tonnes; la charge par essieu moteur varie de 8 à 11 tonnes; la charge sur le truck va jusqu'à 10 tonnes.

Ces machines sont assez souvent employées pour la traction des trains de voyageurs; les machines à quatre roues motrices font aussi quelquefois le service des marchandises.

Machines de renfort, pour pousser les trains de marchandises sur les rampes (fig. 4, pl. IV). Huit roues de 1^{m}22 de diamètre, toutes accouplées; les cylindres ont 0^{m}46 de diamètre sur 0^{m}56 de course; la chaudière a 1^{m}09 de diamètre, 110 tubes à fumée de 50 $^{m}/_{m}$ et 62 mètres carrés de surface de chauffe. Le poids total est de 32 tonnes; la charge est de 7 $^{1}/_{2}$ tonnes sur l'essieu d'avant et sur celui d'arrière, et d'un peu plus de 8 tonnes sur chacun des deux autres.

Les machines pour les manœuvres dans les gares ont six roues de 1^{m}09 de diamètre, toutes accouplées; les cylindres moteurs ont 0^{m}38 de diamètre sur 0^{m}46 de course.

On emploie comme combustible la houille grasse de Pennsylvanie, qui revient à fr. 6.50 les mille kilogrammes, rendus à Altoona, siége de l'exploitation de la Compagnie. Le bois d'allumage coûte fr. 4.20 le mètre cube.

La plus grande vitesse, en pleine marche, des machines à voyageurs, correspond à 56 kilomètres à l'heure; en y comprenant les arrêts, la vitesse moyenne des trains express est de 40 kilomètres à l'heure sur niveau, et 31 à 33 kilomètres sur les pentes et rampes de 18 millimètres par mètre.

La vitesse des machines à marchandises en marche est de 19 à 24 kilomètres à l'heure. Une machine peut remorquer sur niveau un train composé de trente-cinq wagons, dont vingt chargés de 9,000 kilos, le poids mort étant en moyenne de 7,500 kilos par wagon, en tout 450 tonnes environ, à raison de 24 kilomètres à l'heure.

Pour gravir les fortes rampes, deux, quelquefois trois et même quatre machines sont attelées aux trains, suivant leur longueur. Une seule machine à trois essieux accouplés peut remorquer sur une rampe de 18 millimètres un train composé de dix wagons chargés, soit 165 tonnes, poids mort compris, avec une vitesse de 19 kilomètres à l'heure. Le travail moteur effectif dans ces conditions peut être évalué à 300 chevaux-vapeur environ; la surface de chauffe disponible par force de cheval utile serait donc de $0^{m^2}35$ au maximum.

Un mémoire relatif à l'emploi de la houille crue dans les foyers des locomotives, sur lequel j'aurai occasion de revenir plus tard, rapporte des expériences précises sur le travail d'une machine à voyageurs. Voici les données de ces expériences :

Nombre des roues motrices de la machine.	4
Diamètre id. id id. .	1^m 68
id. des cylindres.	0^m 41
Course des pistons.	0. 61
Surface de chauffe. . . . . . m. carrés.	72. 50
Poids de la machine en charge. . . . . k^{os}.	29.000
Charge sur les roues motrices.	18.500
Nombre de wagons composant le train. .	4

Poids des wagons et de leur charge. . . k°. 65.000
Poids total du train, y compris machine et tender. 107.000

On a obtenu une vitesse de 33 kilomètres à l'heure, en montant une rampe de 18 millimètres par mètre qui se prolonge sur 19 kilomètres de longueur. La machine a dû produire un travail effectif d'au moins 250 chevaux, ce qui correspond à moins de 0m²30 de surface de chauffe par force de cheval. J'ai observé, du reste, qu'en général les chaudières des locomotives, aux États-Unis, sont faibles relativement aux machines.

Chemin de fer Baltimore-Ohio.

Cette ligne traverse aussi les monts Alleghany avec de fortes rampes. Le nombre des machines, à la fin de 1868, était de trois cent-quarante, réparties comme suit :

Machines à voyageurs.	105
Machines mixtes.	65
Machines à marchandises.	170
	340

Les machines à voyageurs ont quatre roues motrices de 1m52 de diamètre, avec un truck à quatre roues. Les cylindres ont 0m43 de diamètre sur 0m61 de course. Le diamètre du corps de la chaudière est de 1m22 ; il y a 139 tubes à fumée de 60 millimètres de diamètre. La surface de chauffe est de 99 mètres carrés. Ces machines, exclusivement affectées au service des voyageurs, pèsent 32 tonnes ; un quart du poids est supporté par le truck ; chaque essieu moteur est chargé de près de douze tonnes.

Les machines mixtes ont six roues accouplées, et un truck à quatre roues ; elles sont employées pour remorquer les trains de voyageurs sur les fortes rampes, et les trains de marchandises sur les parties de niveau ou peu inclinées.

Il existe deux types de ces machines, de forces différentes; en voici les dimensions principales :

Diamètre des roues motrices.	1m27 et 1m64
Id. des cylindres	0m48 et 0m46
Course des pistons.	0m56 et 0m66
Poids de la machine. . . . . tonnes.	30 et 39½

Le poids de la machine est également réparti sur le truck et les essieux moteurs. Les chaudières ont 1m22 de diamètre, et contiennent 134 tubes de 57 millimètres. La surface de chauffe est de 111 mètres carrés.

Les machines à marchandises sont employées, au nombre de deux ou davantage, pour faire franchir les fortes rampes aux trains de marchandises. Elles sont portées sur huit roues, toutes accouplées entre elles, de 1m09 de diamètre; le diamètre des cylindres est de 0m50, la course de 0m56. La chaudière à 1m24 de diamètre; elle contient 115 tubes de 60 millimètres de diamètre, et présente une surface de chauffe de 106 mètres carrés. Le poids de ces machines est de 36 tonnes; il est également réparti sur les quatre essieux.

La vitesse de marche des machines à marchandises varie de 16 à 24 kilomètres à l'heure. Pour les trains de voyageurs, sur la ligne principale, la vitesse moyenne de marche est de 44 kilomètres, et le *maximum* de vitesse, de 50 kilomètres à l'heure. Arrêts compris, la vitesse à l'heure est d'environ 32 kilomètres pour les trains ordinaires, 38 à 40 kilomètres pour les express sur la ligne principale, et de 51 kilomètres sur la ligne de Washington.

Les machines mixtes remorquent un train de voyageurs composé de six wagons avec une vitesse de près de 30 kilomètres à l'heure sur les rampes de 22 millimètres, et avec une vitesse d'environ 40 kilomètres sur les rampes modérées.

Les machines à marchandises sont assistées sur les rampes de 22 millimètres par une seconde machine qui

pousse le train. Une machine seule gravit ces rampes avec un train de huit wagons chargés, soit 130 tonnes, poids mort compris, à la vitesse de 19 kilomètres à l'heure, et des rampes de 9 à 10 millimètres, à la même vitesse, en remorquant un train de vingt-un wagons chargés, soit 340 tonnes.

Le charbon demi-gras est le seul combustible employé; il revient à fr. 7-50 en moyenne la tonne, rendue sur le tender, et le bois pour l'allumage, à fr. 5-25 le mètre cube.

Chemin de fer de Philadelphie à Reading.

On y trouve les mêmes systèmes de machines que sur le Pennsylvanie central et le Baltimore-Ohio. Voici les principales dimensions de trois machines adoptées comme types de chaque classe :

Machine à voyageurs : Quatre roues motrices de 1^m72, un truck à quatre roues. Diamètre des cylindres, 0^m38; course : 0^m51. Diamètre de la chaudière : 1^m02; 170 tubes à fumée de 38 et 44 millimètres de diamètre ; surface de chauffe : 88 mètres carrés. Poids total : 25.500 k^{os}, se décomposant en 10.500 k^{os} sur le truck, et 7.500 k^{os} sur chaque essieu moteur.

Machine à marchandises : six roues motrices de 1^m17 de diamètre, un truck à quatre roues. Les cylindres ont 0^m46 de diamètre sur 0^m56 de course. La chaudière a 1^m17 de diamètre; elle renferme 198 tubes à fumée de 44 millimètres; elle a 108 mètres carrés de surface de chauffe. Le poids de la machine est de 31 tonnes; chaque essieu moteur porte $7^1/_2$ tonnes, le truck $8^1/_2$ tonnes.

Machine de fortes rampes : huit roues motrices de 0^m91; pas de roues portantes; cylindres de 0^m46 de diamètre sur 0^m56 de course. Chaudière de 1^m22 de diamètre, contenant 286 tubes à fumée de 38 millimètres; surface de chauffe : 96 mètres carrés. Poids de la machine; 32,700 k^{os},

également réparti sur les quatre essieux. Ces machines servent au transport du charbon sur les embranchements dans les montagnes.

La Compagnie de Reading possède en outre quatre ou cinq locomotives à cinq essieux moteurs et une locomotive a six essieux moteurs. M. James Millholland, ancien ingénieur du chemin de fer de Reading, qui a conçu l'idée de ces machines, admet 4000 kilogrammes environ comme *maximum* de charge par roue motrice; d'après lui les rails, quelles qu'en soient les dimensions, ne pourraient résister avantageusement à une charge plus élevée; voulant augmenter la force des machines, il a donc été conduit à multiplier le nombre des points d'appui. Cette limite de charge n'est, du reste, pas généralement admise; on a vu par ce qui précède que la charge par essieu moteur atteint dans certains cas 11,000 et même 12,000 kilogrammes.

La fig. 5, pl. IV, représente la disposition de la machine à six essieux moteurs. Les roues ont un diamètre de 1^m09; les cylindres, 0^m51 de diamètre sur 0^m66 de course; la chaudière a 1^m22 de diamètre; les tubes à fumée sont au nombre de 174; ils ont 4^m11 de longueur et 51 millimètres de diamètre; la surface de chauffe totale est de 133 mètres carrés. Le poids de la machine, uniformément distribué entre les six essieux, est de 45,500 k^{os}; la charge par essieu est donc un peu supérieure à 7,500 k^{os}. La longueur totale de la machine est de 11 mètres, sa largeur de 2^m60, sa hauteur de 4^m27 au-dessus des rails. Les roues étant fort rapprochées l'une de l'autre, comme on le voit dans la figure, l'écartement des essieux extrêmes n'est que d'un peu moins de six mètres. Pour faciliter le passage des courbes, les rebords des bandages des deux paires de roues du milieu sont supprimés, et l'écartement, pris à l'extérieur des rebords, est inférieur à l'écartement normal, de 25 millimètres pour les paires de roues extrêmes, de 13 millimètres pour les deux autres paires. Grâce à ces

dispositions, la machine passe, m'a-t-on dit, dans des courbes de 90 mètres de rayon; M. Millholland assure même qu'elle peut passer dans des courbes de 70 mètres.

La machine à six paires de roues est stationnée à Richmond, près de Philadelphie; son service consiste à faire franchir aux trains de marchandises une rampe de $6\frac{1}{2}$ millimètres par mètre, connue sous le nom de «Falls-Grade.» Elle remorque sur cette rampe cent wagons pesant à vide 2,600 k^{os}, chargés chacun de 5,000 k^{os} de charbon, avec une vitesse de seize kilomètres à l'heure. Le poids du train seul est donc de 760 tonnes; le travail effectif de la machine est d'environ 400 chevaux-vapeur, de sorte qu'ici encore la surface de chauffe ne correspond guère qu'à un tiers de mètre carré par force de cheval.

Les machines à cinq essieux moteurs sont employées à pousser les trains sur des rampes de 33 millimètres par mètre; leur disposition est analogue à celle de la machine à douze roues accouplées.

Les foyers des locomotives sont alimentés à l'anthracite; ce combustible revient à environ frs. 7-50 la tonne, et le bois d'allumage à fr. 4-70 le mètre cube.

Ateliers de Baldwin et Cie, à Philadelphie.

Les locomotives sortant de cet établissement appartiennent naturellement aux systèmes les plus variés; voici la description de trois types de construction courante :

Machine à voyageurs. Elle est, comme partout, portée sur quatre roues motrices et un truck à quatre roues. Le diamètre des roues motrices est au *maximum* de 1^{m}68. Dans le type généralement adopté pour brûler du charbon gras ou demi-gras, la chaudière a 1^{m}17 de diamètre et 100 mètres carrés de surface de chauffe; elle contient 139 tubes à fumée. Les cylindres ont 0^{m}41 de diamètre sur 0^{m}61 de course. Le poids de la machine va de 20 à 40

tonnes, en moyenne 31 tonnes, dont 11 tonnes sur chaque essieu moteur et 9 tonnes sur le truck.

Machine à marchandises ou mixte. Elle a six roues motrices, de $1^{m}27$ de diamètre, avec un truck à deux ou à quatre roues. La surface de chauffe de la chaudière est d'environ 100 mètres carrés. Le poids est de 33,500 kilogrammes; les essieux moteurs, uniformément chargés, portent 28,000 kilogrammes, et le truck 5,500 k^{os}.

Machine de fortes rampes. Elle a quatre paires de roues motrices, de $1^{m}25$ de diamètre; l'avant de la machine repose ordinairement sur un truck à deux roues (fig. 6, pl. IV), qui a pour but de rendre le déraillement plus difficile. Pour faciliter le passage des courbes, les bandages de la première et de l'avant-dernière paire de roues motrices sont dépourvus de bourrelets. Les cylindres de cette machine ont $0^{m}51$ de diamètre, et les pistons $0^{m}61$ de course. La chaudière a $1^{m}27$ de diamètre sur $4^{m}67$ de longueur; il s'y trouve 199 tubes à fumée de 50 millimètres de diamètre; la surface de chauffe est de 121 mètres carrés. La machine pèse 42,500 k^{os}; ce poids se décompose comme suit :

8,200 k^{os} sur le truck.

8,200 k^{os} sur l'essieu moteur d'avant, équilibré avec le truck.

8,700 k^{os} sur chacun des trois autres essieux.

Mécanisme des locomotives.

La disposition générale du mécanisme des locomotives ne diffère pas essentiellement de celle qui est ordinairement adoptée chez nous. La distribution de la vapeur se fait au moyen de tiroirs manœuvrés par un double excentrique, avec coulisse de Stephenson.

Dans les locomotives de l'Illinois-Central, les lumières ont $0^{m}38$ de longueur; celles d'admission ont 30 millimètres d'ouverture et celle de décharge 51 millimètres. La

course du tiroir est de 127 millimètres ; on donne un recouvrement de 16 à 19 millimètres à l'extérieur et de 3 millimètres à l'intérieur, et une avance linéaire à l'admission de 1 $^1/_2$ millimètre.

Au chemin de fer de Pennsylvanie, la course du tiroir est de 116 millimètres, le recouvrement extérieur de 19 millimètres, l'avance à l'admission de 3 millimètres ; il n'y a pas de recouvrement intérieur.

Au chemin de fer de Philadelphie à Reading, on emploie des rouleaux pour diminuer le frottement des tiroirs. Le tiroir repose de chaque côté sur douze rouleaux en acier, de 24 millimètres de diamètre sur 25 millimètres de longueur, dont les axes sont montés dans une chape en acier. Ces rouleaux sont logés dans une retraite du tiroir, formant une équerre dont le côté horizontal, revêtu d'une lame d'acier, porte sur les rouleaux ; la table du tiroir est également garnie d'une lame d'acier sur laquelle les rouleaux se meuvent. Le côté vertical de l'équerre est taillé vers le bas en biseau assez aigu, qui joint avec la table ; pour que la fermeture soit hermétique, on a soin d'ajuster l'appareil de manière que le tiroir repose sur cette arête ; celle-ci s'usant rapidement, toute la pression se porte alors sur les rouleaux.

Les tiroirs sont habituellement réglés sur place après la construction de la locomotive ; pour cela, on découvre les chapelles, et on enlève les bielles d'accouplement ; on fait reposer les roues motrices sur une paire de galets interposés dans les rails, et calés sur un axe que l'on fait tourner à volonté au moyen d'un levier ; on amène ainsi successivement la manivelle dans diverses positions, et on observe les positions correspondantes des tiroirs.

Au chemin de fer de Reading, on fait l'épure de la distribution au moyen d'un appareil spécial qui représente une réduction au tiers ou au quart de la grandeur naturelle du mécanisme de la locomotive ; les tringles, bielles

et manivelles sont des tiges à coulisse dont on peut faire varier la longueur à volonté ; les excentriques sont formés de deux cercles excentriques emboîtés l'un dans l'autre ; on en modifie la course en faisant tourner le cercle extérieur sur le cercle intérieur ; celui-ci tourne lui-même sur l'axe, ce qui permet de faire varier l'angle de calage. Après avoir amené chaque pièce à la dimension et à la position voulues, on l'y fixe au moyen d'une vis de pression. Les lumières du cylindre sont marquées sur une bande de papier collée sur la table qui supporte tout l'appareil ; le tiroir est tracé sur une autre bande de papier collée sur une règle qui se meut le long de la première. En faisant tourner l'axe qui représente l'essieu moteur, et mettant successivement la coulisse de Stephenson dans ses différentes positions, on voit quelles sont les positions correspondantes du tiroir, et on règle la distribution en conséquence.

On emploie, soit le fer, soit l'acier de creuset, comme matériaux des diverses pièces du mécanisme. Jusqu'à présent l'acier Bessemer ne paraît guère y avoir été employé. Quelquefois on fait certaines pièces en fonte, par exemple la crosse du piston. La tige du piston et ses guides sont ordinairement en acier ; on emploie aussi, notamment pour la coulisse de Stephenson, le fer aciéré superficiellement, sur quatre millimètres environ de profondeur, par une cémentation de cinq à six heures, suivie d'une trempe dans l'eau salée (*case hardened iron*). Les essieux moteurs sont généralement en fer ; on leur donne 15 à 17 centimètres de diamètre ; on les fait aussi en acier.

Le mécanisme de distribution de la vapeur se trouve ordinairement sous la chaudière, à l'intérieur du châssis ; les cylindres, les bielles d'attaque et d'accouplement sont presque toujours à l'extérieur, ainsi que les roues motrices.

Le procédé le plus habituellement adopté pour fixer les cylindres au châssis consiste à les entretoiser par une sorte de caisson venu de fonte par moitié avec chacun des

deux cylindres; les deux pièces sont réunies au milieu par des boulons, et portent des pattes boulonnées aux longerons du châssis. D'autres fois les deux cylindres sont indépendants, et portent chacun un plateau boulonné au longeron et à la boîte à fumée. Les cylindres sont généralement horizontaux.

La garniture des pistons se compose d'un à trois cercles, en fer ou en bronze, ou d'un cercle en bronze dans lequel est creusée une gorge que l'on remplit de métal blanc. (*Babbitt metal.*)

Les fig. 10 à 14, pl. IV, représentent les deux procédés les plus répandus pour le guidage de la tige du piston :

Dans le premier système (fig. 10, 11, 12), il y a quatre guides; la tige du piston est taraudée dans une pièce plate en fer, ayant la forme d'une fourche dans laquelle se loge la tête de la bielle; cette pièce, placée horizontalement, porte de chaque côté une languette qui s'emboîte entre les deux guides, et sur laquelle se boulonne, après la mise en place, une lame de fer qui complète le guidage. Il arrive que l'axe de la tige du piston et celui de la tête de bielle se trouvent sur la ligne de centre des guides; souvent aussi ils sont placés un peu en dessous, comme on le voit sur la figure.

Dans la seconde disposition, (fig. 13 et 14), il n'y a que deux guides, placés verticalement l'un au-dessus de l'autre; la crosse du piston est adaptée entre les deux, et y est maintenue par deux plaques de fer boulonnées sur les deux côtés.

Au reste, ces dispositions varient à l'infini; je me rappelle même avoir vu une locomotive dans laquelle la tige du piston n'avait d'autre guide que le corps de la pompe alimentaire.

Roues motrices et bandages.

Les roues motrices sont en fonte; elles ont environ douze rayons, avec une partie pleine pour équilibrer le

poids de la bielle et de la manivelle; celle-ci est ordinairement venue de fonte avec la roue. On emploie la fonte au bois, ou un mélange de fonte au bois et de fonte à l'anthracite (par exemple, 5/6 au bois et 1/6 à l'authracite); immédiatement après la coulée on brise le moule, et on fait passer un courant de vapeur par le centre et par le trou du bouton de la manivelle; cette opération a pour but, en hâtant le refroidissement, de prévenir les accidents dus à l'inégalité du retrait. On employait jadis un courant d'air pour produire cet effet; mais on a reconnu, paraît-il, que le refroidissement était trop brusque, et qu'un courant de vapeur donne de meilleurs résultats. Une roue motrice venant brute de la coulée pèse moyennement 700 kil.; cela dépend naturellement des dimensions; elle coûte 30 à 40 francs les 100 kilogrammes.

La jante des roues est tournée, et garnie d'un bandage. Les bandages sont généralement en acier, provenant de l'usine Krupp, à Essen, ou des usines de Vickers, de Butcher, de Cammel, en Angleterre. Les bandages Krupp, qui sont les plus employés, coûtent, prêts à être mis en place, de fr. 1.50 à 1.70 le kilogramme; ils ont à peu près 14 centimètres de largeur et 65 millimètres d'épaisseur moyenne. La surface de roulement est légèrement conique; la différence de diamètre est de 6 millimètres environ.

On emploie aussi quelquefois des bandages en fonte, surtout pour les machines de gares et pour les machines à marchandises; ces bandages sont même employés à l'exclusion de tous autres au chemin de fer Baltimore-Ohio. On leur donne 64 millimètres d'épaisseur et 15 centimètres de largeur; la surface de roulement est coulée en coquille; la surface intérieure, qui s'applique sur la roue, est seule alésée. La coulée se fait par le centre, au moyen de quatorze rayons, avec une masselotte de 23 centimètres; on démoule au rouge-cerise, quinze à vingt minutes après la coulée. Ces bandages sont préférés aux bandages d'acier,

d'abord par une raison d'économie (ils coûtent finis environ 47 francs les 100 kil.), ensuite à cause de la facilité de remplacement. Ils n'ont de bourrelets que pour autant que cela soit strictement nécessaire; ainsi, dans les machines à quatre essieux moteurs, la paire de roues d'avant et celle d'arrière ont seules des bourrelets; dans les machines à voyageurs à deux essieux moteurs, avec truck, la paire de roues d'avant n'a pas de rebords.

On fait aussi des bandages en fer, mais leur usage est devenu assez restreint depuis l'introduction des bandages en acier.

La pose des bandages sur les roues se fait de différentes manières : pour les bandages en acier, l'alésage est cylindrique; le bandage a à l'intérieur un diamètre inférieur d'un millimètre et demi, ou même de 1/1800 seulement au diamètre extérieur de la roue; il est posé à chaud et maintenu par six boulons qui traversent la roue et le bandage, ou bien par des vis de pression qui traversent la jante de la roue et s'appuient sur le bandage.

Au chemin de fer Baltimore-Ohio, les bandages en fonte sont également placés à chaud, et maintenus, comme le montrent les fig. 7 et 8, pl. IV, par six boulons transversaux logés entre le bandage et la roue, dans une rainure pratiquée dans celle-ci.

Au chemin de fer de Reading, on emploie pour les petits diamètres des bandages en fonte posés « à glissement » (*slip-tyre*). Voici en quoi consiste ce mode de pose (fig. 9, pl. IV), qui offre de grandes facilités pour le montage et le démontage. La surface extérieure de la roue et la surface intérieure du bandage sont alésées coniques (8^{mm} de différence de rayon pour une largeur de 133 millimètres); la pose à lieu à froid; le bandage est amené en place et maintenu par six vis de pression dont la pointe pénètre dans une cavité conique creusée dans le bandage; ces vis agissent à la fois dans la direction des rayons de la roue et

dans une direction parallèle à l'essieu pour produire le calage.

Voici quelques données sur le service des bandages de diverses matières au chemin de fer de Pennsylvanie. On admet que les bandages doivent être remis sur le tour lorsque leur diamètre est réduit de trois millimètres au moins par l'usure. Le relevé ci-dessous indique les parcours effectués pour arriver à ce degré d'usure.

MATIÈRE ET PROVENANCE DU BANDAGE.	DIAMÈTRE	PARCOURS.
	Mètres.	Kilomètres
Acier — Vickers (Angleterre).	?	65,000
» » »	1,52	29,000
» » »	1,37	20,000
» » »	1,22	8,900
» — S. Butcher »	1,68	34,000
» » »	1,37	39,400
» — Ch. Cammel »	1,37	20,400
» — F. Krupp (Prusse).	1,68	34,300
» » »	1,52	38,600
» » »	1,37	18,500
» — A. Krupp »	1,68	48,000
» » »	1,37	18,500
Fonte de fer. — Usine de Lobdell (États-Unis).	1,22	11,300
» — Whitney, à Philadelphie.	1,22	13,700
» — Union car C° »	1,22	18,000
Fer. — Usine de Freedom (Pennsylvanie.)	1,68	19.000
» » »	1,52	18,000
» » »	1,37	15,500
» » »	1,22	9,500
» » »	1,12	7,200

En se basant sur ces chiffres, on trouverait qu'avant

d'arriver au degré d'usure qui nécessite le rafraîchissement de la surface de roulement, les bandages en fer peuvent parcourir en moyenne près de 14,000 kilomètres et ceux en acier environ 30,000 kilomètres; ceux-ci pouvant être rafraîchis à deux ou trois reprises, leur service total serait d'environ 100,000 kilomètres. Cependant, au chemin de fer de Pennsylvanie, on n'évalue qu'à 20,000 kilomètres en moyenne le parcours que peut faire un bandage en acier avant d'être remis sur le tour. Quant aux bandages en fonte, leur service total pourrait aller jusqu'à 18,000 kilomètres.

Au chemin de fer Chicago-Nord-Ouest, on estime qu'un bandage d'acier anglais peut fournir un parcours de 80,000 à 100,000 kilomètres, et un bandage Krupp un parcours de 110,000 kilomètres, avant d'être remis sur le tour, et que le service total d'un bandage Krupp pourrait atteindre de 300,000 à 500,000 kilomètres. A l'Illinois Central, on évalue à 320,000 kilomètres le service total d'un bandage Krupp. Il ne faut pas perdre de vue que sur ces deux lignes, il y a peu de courbes et pas de fortes rampes, ce qui peut justifier jusqu'à un certain point la divergence entre ces chiffres et les précédents.

Au Baltimore-Ohio, la durée d'un bandage en fonte est de treize mois à deux ans, ou en moyenne 45,000 kilomètres, à raison de 30,000 kilomètres par machine et par an. Ce chiffre semble fort élevé; quoiqu'il en soit, les bandages en fonte paraissent présenter une sécurité suffisante; leur grand défaut est de s'user d'une manière irrégulière; la surface de roulement devient donc bientôt défectueuse, et il serait difficile, vu sa grande dûreté, de la rafraîchir sur le tour.

Châssis des locomotives.

La tôle n'est presque jamais employée pour la construction des châssis des locomotives; généralement, ils sont

en fer forgé; chaque longeron se compose essentiellement d'une barre horizontale, de section à peu près carrée, de laquelle partent des barres verticales ou légèrement inclinées servant de plaques de garde (fig. 15 et 16, pl. V). Les espaces rectangulaires ou trapézoïdaux dans lesquels se logent les essieux, sont fermés à leur partie inférieure, après la mise en place de ceux-ci, par une traverse boulonnée. Les plaques de garde des divers essieux sont reliées l'une à l'autre par des barres horizontales, et à la barre supérieure, vers l'avant et l'arrière, par des traverses obliques qui achèvent de donner au système la rigidité nécessaire. Le longeron représente donc, dans la partie correspondant aux essieux moteurs, une série de triangles et de rectangles, ou de trapèzes; vers l'avant, il se réduit ordinairement à une simple barre.

Ce système de châssis, qui donne aux locomotives un aspect très-léger, est préféré par les ingénieurs américains parce qu'il offre plus de rigidité dans le sens transversal que les châssis en tôle, et facilite l'accès du mécanisme intérieur.

L'épaisseur des longerons est uniforme dans toutes leurs parties; elle est ordinairement de 102 millimètres, quelquefois de 90^{mm} seulement. La barre principale a 76^{mm} de hauteur, les traverses 38 à 51^{mm}. Les barres des plaques de garde ont 51 millimètres de largeur.

La boîte à feu de la chaudière est fixée au châssis par une ou deux cornières boulonnées sur chacun des deux longerons (voir la fig. 15); ceux-ci sont en outre réunis entre eux par le caisson des cylindres, ou par la boîte à fumée, par les traverses d'avant et d'arrière, et par deux ou trois tirants portant des lames de tôle verticales qui servent de supports au corps de la chaudière, en permettant le jeu de la dilatation.

On suit différents systèmes pour la construction de ces longerons; la fig. 15, pl. V, représente le longeron d'une

machine à voyageurs du chemin de fer de Cleveland à Erié. Il est forgé tout d'une pièce; l'avant est formé de deux barres superposées, de 90 millimètres de largeur sur 38 et 51^{mm} respectivement de hauteur; elles embrassent la traverse d'avant et le caisson qui réunit les deux cylindres; elles sont encore consolidées par deux pièces de fonte traversées par des boulons. Près de l'essieu moteur d'avant, les barres s'écartent pour se raccorder au haut et au bas de la plaque de garde. Les côtés des plaques de garde, venus de forge sur la barre qui forme l'arrière du longeron, sont inclinés, et garnis de pièces rapportées, en forme de coins, entre lesquelles jouent les boîtes à graisse. L'usage de ces pièces rapportées est très-généralement adopté. Les traverses qui complètent le longeron à sa partie inférieure sont également forgées d'une pièce avec les autres parties.

Souvent, au lieu de faire les longerons d'une pièce, on préfère les composer d'un nombre plus ou moins grand de pièces forgées à part et réunies entre elles par des boulons. On voit ce système dans la fig. 16, pl, V, qui représente le longeron d'une machine à voyageurs de Baldwin et Cie. Chaque plaque de garde est une pièce en forme de *pi*, boulonnée sur une poutrelle horizontale; une autre poutrelle forme l'avant du longeron; elle est boulonnée sur la précédente et sur le côté de la plaque de garde d'avant; chacune des traverses qui relient les plaques de garde entre elles et avec la poutrelle est une pièce séparée, réunie aux autres par des boulons. Les châssis composés coûtent environ 15 p. % de plus que les châssis simples, à cause de l'ajustage que nécessitent les diverses pièces à rapporter ensemble; ils sont, paraît-il, beaucoup meilleurs à l'usage.

Le même système est suivi par la Compagnie du Pennsylvanie-Central, avec cette seule différence que les plaques de garde sont venues de forge sur la poutrelle

principale du longeron. Un châssis complet, ainsi construit, pèse de 2,000 à 2,400 kilogrammes, et coûte, à raison de frs. 0.70 à 0.80 le kilo, 1,600 francs environ tout fini.

Aux États-Unis, les pièces de forge qui doivent être d'une bonne qualité de fer, telles que châssis de locomotives, essieux de locomotives et de wagons, etc., sont généralement fabriquées de ferrailles de diverses provenances; on y emploie de vieilles tôles de chaudières, de vieux essieux, des bandages en fer hors de service, même des roues motrices en fer, que l'on se procure au Canada, de vieux rails, dont une grande partie vient d'Europe, etc., etc. Tous ces débris sont aplatis au pilon, cisaillés, mis en paquets et laminés en forme de barres, qui sont ensuite mises en œuvre.

Voici les dispositions que j'ai vu employer pour la construction d'un longeron dans les ateliers du Baltimore-Ohio; on prépare d'abord une lame de fer ayant une largeur égale à la hauteur qu'on veut donner à la barre du longeron et pour épaisseur un quart de la largeur de celle-ci. Sur cette lame on soude aux endroits voulus d'autres lames de dimensions convenables pour former les plaques de garde, et à l'extrémité de celles-ci de petits bouts de barres à angle droit. Le nerf du fer est ainsi toujours dans le sens de la longueur de chaque partie du longeron; les diverses pièces sont appliquées alternativement d'un côté et de l'autre de celle sur laquelle elles sont soudées, comme l'indique la fig. 18. Lorsque quatre pièces semblables sont préparées, on les empile, on les réchauffe et on les soude sous le marteau-pilon.

Lorsque le longeron est forgé, on le passe à la machine à raboter et à la machine à mortaiser pour en dresser toutes les faces; j'ai vu dans plusieurs ateliers des machines à raboter qui passaient d'un seul coup sur toute la longueur d'un longeron.

Après cette opération, il reste, pour finir le longeron, à y percer un grand nombre de trous de boulons; pour accélérer ce travail, et lui donner en même temps plus de précision, on emploie souvent des machines à percer ayant une très-grande table sur laquelle voyagent un ou plusieurs porte-outils, de manière qu'il suffit d'ajuster une seule fois le longeron avec soin pour pouvoir y forer tous les trous qui ont la même direction.

Au chemin de fer de Philadelphie à Reading, les longerons des locomotives sont disposés d'une manière toute différente de celle que j'ai décrite tantôt; (fig. 17, pl. V), ils sont formés de deux barres de fer méplat, de 146 millimètres sur 32^{mm}, placées de champ et écartées de 83^{mm} l'une de l'autre. Les plaques de garde sont en fonte, elles sont prises par leur extrémité supérieure entre ces barres, et y sont serrées par des boulons. Leurs extrémités inférieures sont réunies entre elles et avec le longeron par des tringles de fer boulonnées.

La boîte à fumée de la chaudière est fixée directement sur le châssis; la boîte à feu est suspendue un peu au-dessus par trois petites bielles de chaque côté, de manière à permettre le jeu de la dilatation.

Afin de pouvoir faire des réparations à la boîte à feu sans démolir tout le châssis, chaque longeron se démonte en deux pièces, vers le milieu de sa longueur; les moitiés de deux plaques de garde voisines sont coulées en une seule pièce, qui fait joint entre les deux parties de la poutrelle.

Suspension.

Les ressorts de suspension sont formés de dix à douze lames d'acier fondu, d'un centimètre d'épaisseur, sur 9 à 11 centimètres de largeur. On leur donne environ 0^{m}90 de portée et une flèche de six centimètres, qui augmente de 4 à 5 centimètres sous charge.

Les ressorts sont presque toujours équilibrés entre eux au moyen de balanciers.

Trucks de locomotives.

Le truck, ou train articulé, constitue un accessoire obligé de la locomotive américaine; on ne s'en dispense que pour les machines de gares, et pour celles qui ont quatre essieux moteurs et au-delà.

Le but du truck est d'empêcher le déraillement dans les courbes, en frayant pour ainsi dire la voie aux roues motrices; les courbes prononcées qui existaient dans les premiers tracés et existent encore sur certaines lignes, rendaient probablement cette précaution nécessaire; le truck a aussi pour but d'alléger les roues motrices d'une partie du poids de la machine.

Les trucks sont ordinairement montés sur quatre roues; de 0^m65 à 0^m75 de diamètre; elle sont en fonte, d'une pièce, la jante coulée en coquille; on emploie aussi pour les trucks des roues en acier coulées d'une pièce.

Certains machines à six et à huit roues motrices sont pourvues d'un truck à deux roues, disposé comme les trucks ordinaires, sauf qu'il est nécessaire de lui donner un point d'appui sur la machine, pour l'empêcher de se renverser.

Les fig. 19, 20, 21, pl. V, montrent la disposition du truck à deux roues construit par Baldwin et Cie; le châssis de ce truck est un cadre en fer plat suspendu sur l'essieu au moyen de deux ressorts en lames d'acier; il porte une queue qui vient s'articuler en arrière à une pièce fixée au châssis de la locomotive. L'avant de celui-ci repose sur un pivot dont la crapaudine fait partie d'une boîte en fonte suspendue au centre du châssis du truck au moyen de quatre petites bielles, qui lui permettent de se balancer transversalement entre les deux lames de fer qui la sup-

portent. Une tige de fer traverse verticalement la crapaudine et le pivot; elle est soutenue à sa partie supérieure, au-dessus du châssis de la locomotive, par un écrou qui comprime une forte rondelle de caoutchouc reposant sur ce châssis; sa partie inférieure reçoit une extrémité d'un balancier d'équilibre dont l'autre extrémité prend appui sur les ressorts de l'essieu moteur d'avant.

Par cette disposition, le truck peut prendre trois mouvements différents par rapport à la machine : un mouvement de rotation autour d'un axe vertical, un mouvement d'oscillation dans le sens transversal à la voie (*swing-motion*) enfin un jeu en hauteur qui permet au châssis de la machine de se soulever sans que tout le poids cesse de peser sur le truck.

Dans le truck à quatre roues du même constructeur, la crapaudine qui supporte l'avant de la machine est suspendue par le même procédé sur le châssis du truck, mais ce châssis est indépendant de celui de la machine, et le jeu en hauteur n'existe pas.

D'autres constructeurs obtiennent le jeu transversal en faisant reposer le châssis de la machine, au moyen de patins, dans deux entailles en forme de V très-ouvert, pratiquées dans une pièce transversale portée par le truck.

Quelquefois, il n'y a pas de jeu latéral; l'avant de la machine n'est pas supporté sur les côtés, et porte un pivot qui repose sur une crapaudine fixée au centre du truck.

Chaudières de locomotives.

Les chaudières sont, comme les nôtres, du système tubulaire, à foyer intérieur. Les dimensions principales sont à peu près les suivantes :

Longueur de la boîte à feu : 1m50 à 1m70, et 2m50 pour les machines qui consomment de l'anthracite.

Largeur de la boîte à feu	. . . .	0m90 à 1m20
Hauteur id. id.	. . . .	1m25 à 1m70
Diamètre du corps cylindrique	. .	1m00 à 1m27
Longueur des tubes à fumée	. . .	2m50 à 4m50

On donne ordinairement à la boîte à feu une forme à peu près parallélipipédique, avec un ciel plat renforcé par des armatures; souvent elle se prolonge sur 0m20 à 0m25 de longueur dans l'intérieur du corps cylindrique, formant ce qu'on appelle une chambre de combustion.

L'enveloppe de la boîte à feu se termine ordinairement vers le haut par une partie cylindrique dont la section est une portion de cercle ou d'ovale, et qui se raccorde au corps de la chaudière par un cône plus ou moins allongé.

La pl. VI montre la disposition de plusieurs chaudières de locomotives :

Fig. 22. Chaudière d'une machine à marchandises du chemin de fer Baltimore-Ohio; sa forme est des plus simples; la boîte à feu et son enveloppe extérieure sont de forme rectangulaire; la partie supérieure de l'enveloppe est formée d'un demi-cylindre prolongeant le corps de la chaudière; celui-ci contient cent-quinze tubes de 60 millimètres de diamètre. La surface de chauffe au foyer est de 9 ³/₄ mètres carrés, la surface totale, de 106 mètres carrés.

Fig. 23. Chaudière d'une machine à marchandises de l'Illinois-Central. C'est le type le plus communément employé. La boîte à feu s'évase un peu vers sa partie supérieure; l'enveloppe extérieure se termine en haut par une demi-ellipse; un cône à base elliptique la raccorde au corps de la chaudière. Il y a 169 tubes à fumée de 51 millimètres. La surface de chauffe est de 7 ³/₄ mètres carrés au foyer, 104 mètres carrés en tout.

Fig. 24. Chaudière du chemin de fer de Philadelphie à Reading; ce système est caractérisé par l'inclinaison vers l'arrière des parois supérieures de la boîte à feu et de

l'enveloppe; ces parois étant peu écartées sont réunies par des entretoises. La boîte à feu est très-longue, ce qui est nécessaire pour brûler l'anthracite; il y a une chambre de combustion de 0m45 de longueur, pénétrant dans un renflement du corps cylindrique. Les tubes à fumée sont au nombre de 198, du diamètre de 44 millimètres; la surface de chauffe est de 108 mètres carrés, dont 12 mètres carrés environ de chauffe directe.

La chaudière de la machine à douze roues motrices a les dimensions suivantes:

Longueur de la boîte à feu.	2m 74
Largeur id. id.	1m 06
Diamètre du corps cylindrique.	1m 22
Nombre de tubes à fumée.	174
Longueur des id.	4m 11
Diamètre id.	0m051
Surface de chauffe.	133m.c.

Cette disposition de la boîte à feu est considérée comme très-favorable à une bonne combustion; elle est fréquemment employée; sur le Baltimore-Ohio, notamment, on voit ces foyers à un grand nombre de machines; elles sont appelées machines Winans, du nom du premier constructeur qui a employé ce système; elles sont aussi connues sous le nom de machines-chameaux (*camel-back engine*), probablement à cause de la position de la cabine du mécanicien, qui se trouve sur le corps cylindrique, entre les deux dômes. Le chargement du combustible se fait ordinairement par une porte dans le ciel du foyer; il y a aussi une porte à l'arrière, pour introduire un ringard et égaliser la couche de combustible.

La fig. 25 représente un vieux type de chaudière du chemin de fer de Reading; le ciel du foyer est aussi incliné vers l'arrière; la section transversale de la boîte à feu représente un V renversé, de manière à donner une largeur de grille de près de deux mètres. Toute la partie inférieure

de la paroi d'arrière est ouverte, pour le chargement du combustible. Il y a une chambre de combustion de 0^m62 de longueur.

On voit, fig. 26, la chaudière d'une locomotive à six roues motrices, construite par Baldwin et destinée à brûler l'anthracite. La boîte à feu est évasée à sa partie supérieure; sa paroi d'arrière est un peu inclinée ; il y a une chambre de combustion d'une faible longueur. Le dessus de l'enveloppe de la boîte à feu est de section circulaire et se raccorde au corps de la chaudière par une partie cônique. Il y a 176 tubes à fumée de 51 millimètres; la surface de chauffe directe est de dix mètres carrés, la surface totale de 103 mètres carrés.

Les matériaux employés pour la construction des chaudières sont le fer, l'acier et le cuivre. L'usage le plus général est de faire la boîte à feu en acier, son enveloppe et le corps cylindrique en fer, ainsi que les tubes à fumée. Quelquefois, c'est le cas au chemin de fer de Pennsylvanie, toute la chaudière est en tôle d'acier, mais les tubes sont toujours en fer. On fait aussi des boîtes à feu en acier avec ciel et plaque tubulaire en fer, et des boîtes à feu en fer avec plaque tubulaire en cuivre ou en acier.

A l'époque où les locomotives brûlaient du bois, on faisait généralement les boîtes à feu en cuivre et les tubes à fumée en cuivre ou en laiton; mais, après que les combustibles minéraux ont été substitués au bois, on a trouvé que les tubes en laiton s'usaient trop rapidement par le frottement des escarbilles entraînées par le tirage, et que les boîtes à feu en cuivre ne résistaient pas suffisamment à l'action des ringards ; aussi l'emploi du cuivre et du laiton dans la construction des chaudières est presque entièrement abandonné.

Les différents matériaux sont employés sous les épaisseurs suivantes :

Boîtes à feu en fer : . . 8 millimètres généralement.

Boîtes à feu en acier. . 6 $^1/_2$ à 8.
id. en cuivre . 11
Plaques tubulaires en fer 9 $^1/_2$ à 12 $^1/_2$
id. id. en acier 8 à 9 $^1/_2$ quelquefois 12 $^1/_2$ ^{mm}.
Corps de chaudières en fer 8 à 9 $^1/_2$ quelquefois 12 $^1/_2$ ^{mm}.
id. en acier 8 millimètres.
Tubes à fumée en fer. 2 $^1/_2$ à 2 $^1/_2$ millimètres.

On prend presque toujours l'acier fondu au creuset pour la fabrication des tôles de chaudières; ces tôles viennent ordinairement des usines de Pittsburg; elles coûtent frs. 1-50 le kilogramme; la tôle de fer au bois de la meilleure qualité coûte un franc, et la tôle de cuivre frs. 2-50 le kilogramme.

Le coût total d'une chaudière en fer, avec boîte à feu en acier, peut être d'environ 180 francs les cent kilos.

L'assemblage des tôles de chaudières se fait ordinairement par une double rivure en quinconce; les parois des boîtes à feu sont consolidées par des entre-toises de 22 millimètres de diamètre, taraudées et rivées dans les deux tôles, et espacées de 11 centimètres environ de centre à centre. Des tirants disposés dans divers sens consolident toutes les parties qui ne présenteraient pas une résistance suffisante par leur forme même.

L'assemblage du bas de la boîte à feu et celui des portes de chargement se fait ordinairement au moyen de cadres en fer. Lorsqu'on emploie les tôles d'acier, on fait souvent ces assemblages en rivant les deux tôles l'une sur l'autre. On voit fig. 27, pl. VI, la coupe d'une porte de foyer au chemin de fer de Pennsylvanie; comme il y a dans ce système une rivure d'une exécution très-difficile, on se proposait de le modifier de manière à amener la rivure à l'extérieur, comme le montre la fig. 28. La fig. 29 représente l'assemblage d'un dôme au corps de la chaudière au moyen du cintrage des tôles et d'une double rivure.

Les tôles d'acier se prêtent parfaitement à ce genre de

travail, mais il est indispensable qu'elles soient uniformément chauffées dans toute leur étendue; on emploie pour cela dans les ateliers d'Altoona un foyer de forge d'une disposition particulière. Il se compose d'une table en fonte de 2m 15 de long sur 1m 20 de large, creuse et divisée en deux compartiments par une cloison horizontale; le vent de la soufflerie arrive dans le compartiment inférieur, d'où il s'échappe par cent-cinquante petits tubes sertis dans les deux faces du compartiment supérieur; on fait circuler de l'eau dans celui-ci pour rafraîchir l'aire du foyer.

Le placement des tubes à fumée dans les locomotives se fait ordinairement de la manière suivante: (fig. 30, pl. VII); on élargit d'abord le bout du tube de manière à le serrer fortement dans la tôle tubulaire; ensuite on forme contre la paroi intérieure de cette tôle un renflement annulaire; enfin, on refoule sur la paroi extérieure le bout de tube qui dépasse la tôle.

On se sert, pour produire le renflement à l'intérieur, de l'appareil représenté par les fig. 31 et 32. Il se compose d'un cylindre en fer présentant sur toute sa longueur une rainure dans laquelle sont logées deux lames élastiques dont chacune porte une saillie correspondant au renflement à produire; on fait entrer cet instrument dans le tube, et on introduit entre les deux lames d'acier un coin que l'on enfonce graduellement, tout en faisant tourner lentement tout l'appareil sur lui-même.

Quelquefois on enchâsse sur le tube une bague en cuivre mince, quit joint avec la tôle tubulaire. Quelques constructeurs ajustent les tubes simplement en y chassant une bague en fonte.

Au chemin de fer de Pennsylvanie, on soude aux deux extrémités des tubes des bouts de 15 à 20 centimètres de longueur, qui s'adaptent dans les plaques tubulaires, et que l'on renouvelle lorsqu'ils sont usés; la fibre de ces

bouts est disposée transversalement à la longueur du tube; ils sont en acier ou en fer de toute première qualité.

La pression *maxima* de la vapeur est ordinairement de $6\ ^1/_2$ à $7\ ^1/_2$ atmosphères; elle ne dépasse jamais 9 atmosphères effectives. Les constructeurs font subir aux chaudières une épreuve à l'eau froide à une pression qui varie d'une fois et quart à deux fois la pression normale. Les chaudières sont munies d'une ou de deux soupapes de sûreté et des autres appareils de sûreté en usage sur nos locomotives.

Au chemin de fer de Pennsylvanie, on emploie, en outre des soupapes ordinaires, une soupape d'une construction particulière, représentée par la fig. 33, pl. VII. Elle a la propriété, lorsqu'elle s'est levée à une pression déterminée, de ne se refermer qu'après que la pression a baissé d'une manière notable, par exemple d'un tiers d'atmosphère.

Cette soupape est à double siége; le siége intérieur est cônique, de 57 millimètres de diamètre à la petite base; le siége extérieur, très étroit, a 85 millimètres de diamètre. La soupape est chargée au moyen d'un ressort à boudin agissant par l'intermédiaire d'une tige dont le point d'application est en-dessous du centre de gravité. La charge correspond à $8\ ^1/_2$ atmosphères; lorsqu'un excès de pression a fait lever la soupape, la vapeur agit, pour la maintenir ouverte, sur une surface plus que double de la surface primitive; il en résulte que la soupape ne se referme que lorsque la pression est redescendue vers 8 atmosphères.

L'ouverture et la fermeture de cette soupape, ainsi que j'ai pu l'observer, sont très-brusques, même au point d'effrayer les chevaux et mulets qui stationnent dans les gares. Pour remédier à cet inconvénient, la soupape ordinaire est disposée de manière que le mécanicien puisse à volonté en diminuer la charge; pour cela, la balance à ressort qui presse sur la soupape, au lieu d'être attachée à un point fixe, est articulée à un petit levier portant une dent-de-loup

qui prend dans les crans d'une crémaillère ; chacun de ces crans correspond à une pression déterminée de la vapeur, depuis 5 jusqu'à 8 ½ atmosphères. Lorsque, par suite d'un arrêt prolongé dans une gare, il se produit de la vapeur en excès, le mécanicien peut ainsi la laisser échapper par la soupape ordinaire, et empêcher la levée de la soupape à double siége.

Les chaudières ont assez généralement deux dômes, l'un au-dessus de la boîte à feu, l'autre près de la boîte à fumée; la prise de vapeur a lieu dans les deux dômes à la fois. On emploie fréquemment comme modérateurs des soupapes à double siége, dont la fig. 35, pl. VII, donne un exemple; ces soupapes sont beaucoup plus faciles à mouvoir que les glissières ordinaires. Précisément à cause de cette facilité, on a pris, au chemin de fer de Pennsylvanie, une disposition, semblable à celle des leviers de changement de marche, qui permet de fixer le modérateur en différents points de sa course ; la tige du modérateur porte un petit secteur dans les crans duquel prend un arrêt à ressort placé sur le levier.

La vapeur, après avoir travaillé dans les cylindres, est lancée dans la cheminée par une ou mieux par deux tuyères; on a constaté que, lorsqu'il n'y a qu'une tuyère, la décharge de l'un des cylindres peut produire dans l'autre une contre-pression très-nuisible ; j'ai vu des diagrammes, pris sur des locomotives au moyen de l'indicateur de Watt, et où cet effet était très-marqué.

Dans les locomotives de l'Illinois-Central, (voir la fig. 23, pl. VI), la décharge de vapeur arrive au bas d'un tuyau vertical qui occupe toute la hauteur de la boîte à fumée, et qui aboutit dans la cheminée ; il porte sur le côté quatre orifices d'aspiration à diverses hauteurs afin de répartir le tirage le plus uniformément possible entre les diverses rangées de tubes.

Au chemin de fer de Reading, on a adopté un système

d'échappement variable représenté par la fig. 34, pl. VII; la tuyère d'échappement est formée de douze lames d'acier, de 1 $^1/_2$ millimètres d'épaisseur, rivées à leur partie inférieure sur un anneau en bronze qui est lui-même rivé dans l'orifice de la culotte d'échappement ; ces lames, en se recouvrant légèrement par leurs bords, forment un cône de 0^{m}165 de diamètre à la base et 0^{m}120 de diamètre au sommet, sur 0^{m}18 environ de hauteur ; un manchon en fonte, qui embrasse le cône, peut recevoir un mouvement de haut en bas et de bas en haut au moyen d'un levier et d'une tringle dont la poignée se trouve à portée du mécanicien ; en faisant descendre le manchon, on diminue la section de l'orifice d'échappement ; en relevant le manchon, les lames font ressort, et la section augmente. Cette section est variable dans les limites suivantes :

Pour les machines à voyageurs, de 39 à 116 cent. carr.
Pour celles à six et à douze roues motrices . . . . 71 à 153 id. id.
Pour celles à huit roues motrices : 53 à 126 id. id.

On emploie assez souvent dans les foyers des locomotives des grilles dont les barres sont rafraîchies par une circulation d'eau ; il convient, pour cela, que le combustible ne forme pas de mâche-fer. La fig. 39, pl. VII, représente la disposition adoptée au chemin de fer de Reading. Quinze tubes en fer, *a*, de 51 millimètres de diamètre intérieur, sont encastrés par leurs extrémités dans les parois d'avant et d'arrière de la boîte à feu ; ils sont disposés sur deux rangées horizontales, à l'exception des deux tubes latéraux, qui sont placés plus haut. L'ensemble de ces tubes forme quatre rigoles dont le fond est fermé par des barres de fer, *b*, passant dans des trous pratiqués dans les parois de la boîte à feu ; pour jeter le feu, il suffit de retirer ces barres. D'autres trous, *c*, pratiqués dans les parois, dans les intervalles des tubes, fournissent de l'air sur la grille et permettent d'introduire un ringard pour piquer

le feu. Ces grilles sont inclinées de 5 centimètres environ vers l'avant de la machine.

Une disposition analogue est employée au Pennsylvanie-Central.

On a essayé divers systèmes de foyers dans le but de brûler la fumée produite par la houille grasse; je donnerai tantôt quelques détails sur plusieurs systèmes qui n'ont pas passé dans la pratique. Au chemin de fer de Pennsylvanie, un grand nombre de locomotives ont dans l'intérieur du foyer une voûte ou « déflecteur » qui force la flamme à repasser à l'arrière du foyer, pour brûler une partie de la fumée et diminuer l'entraînement du charbon dans les tubes par le tirage. La voûte est formée (fig. 36 et 37), de plaques de terre réfractaire, de 0m18 d'épaisseur, placées en travers et supportées par quatre tubes longitudinaux sertis dans la paroi d'avant et dans le ciel du foyer. La voûte repose par en bas sur la tôle d'avant de la boîte à feu, un peu en-dessous de la rangée inférieure de tubes, et s'élève sous un angle d'à peu près trente degrés sur l'horizon, de manière à laisser à l'arrière un espace libre d'environ 0m60 jusqu'à la tôle d'arrière, et 0m40 sous le ciel.

Accessoires des locomotives.

Les locomotives américaines comportent certains accessoires rendus plus ou moins nécessaires par les circonstances, et qui n'existent pas dans nos locomotives, ou bien sont arrangés d'une façon toute différente.

Le « *spark-arrester* » était destiné à arrêter une partie des escarbilles que lançaient à profusion les foyers de locomotives alimentés au bois; il a été conservé pour les machines qui consomment de la houille. La fig. 23, pl. VI, représente la disposition de cet appareil à l'Illinois-Central; il se compose de deux troncs de cône accolés par leur

base, qui entourent la cheminée ; le cône inférieur recueille les escarbilles ; le cône supérieur, plus évasé, est ouvert à son sommet pour laisser échapper les gaz ; au-dessus du tuyau de la cheminée se trouve fixé un chapeau en tôle contre lequel le courant de gaz vient se briser ; les escarbilles sont abattues, et les gaz s'échappent par l'espace annulaire entre le chapeau et le cône supérieur ; pour arrêter les particules qui pourraient encore être entraînées, cet espace est garni d'une toile métallique.

D'autres dispositions sont aussi employées ; quelquefois le cône supérieur est remplacé par une vaste toile métallique ; quelquefois on supprime le chapeau, mais la forme générale de l'appareil reste à peu près la même.

Cet appareil n'est employé que lorsqu'on consomme de la houille plus ou moins grasse, les locomotives à anthracite n'ont qu'une cheminée droite ordinaire.

En prévision des obstructions qui pourraient se trouver sur la voie, les locomotives portent à l'avant un appareil appelé « *cow-catcher* » ou « *pilot* », qui tient la place du chasse-pierres de nos locomotives, mais sur de tout autres dimensions ; il couvre toute la largeur de la machine et occupe en hauteur à peu près tout l'espace compris entre le rail et la traverse d'avant de la locomotive.

La forme du « *cow-catcher* » est analogue à celle d'un soc de charrue ; il se compose d'un double paraboloïde hyperbolique formé de tringles en bois ou en fer, qui sont, ou horizontales (fig. 40 et 41, pl. VII), ou parallèles à un plan vertical passant par l'axe de la machine (fig. 42 et 43). L'appareil présente sur les deux côtés une arête verticale et au milieu une arête inclinée de 30 degrés environ sur l'horizon. Il est fixé par son bord supérieur à la traverse d'avant ; des poussards en fer prenant appui sur la même traverse soutiennent le sommet du triangle qui forme sa base.

En hiver, en peut couvrir le « *cow-catcher* » d'une sorte

de bouclier en tôle mince pour chasser la neige ; il y a aussi des machines dont le « *cow-catcher* » consiste en un bouclier en forte tôle d'une forme analogue à celle qui vient d'être décrite. Du reste, dans les pays où il tombe beaucoup de neige, on a, pour la balayer, des wagons spéciaux appelés « *charrues à neige* », qui sont munis de boucliers de grandes dimensions.

Quelquefois, surtout pour les machines qui manœuvrent dans les gares, le *cow-catcher* ordinaire est remplacé par une forte planche placée horizontalement un peu plus haut que le rail, et formant comme une marche d'escalier en avant et en-dessous de la traverse d'avant, à laquelle elle est solidement fixée. (Voir la fig. 5, pl. IV.)

Les mécaniciens sont abrités dans une cabine assez spacieuse, construite sur la plate-forme d'arrière; on y entre par une porte placée à l'arrière ; cette cabine est garnie tout autour de vitrages que l'on peut ouvrir à volonté. Ce système, très-confortable pour les mécaniciens, ne paraît pas présenter d'inconvénients pour le service ; au reste, je doute fort qu'un mécanicien Américain consentît à monter sur une machine où il ne serait pas abrité contre la pluie et le vent.

Dans les machines « *camel-back* » la cabine du mécanicien est perchée sur le corps cylindrique de la chaudière ; on y arrive par une sorte d'escalier sur le foyer ; le chauffeur est placé sur le tender, d'où il peut charger ou tisonner le feu.

Les lanternes suspendues à l'avant des machines sont de très-grandes dimensions ; grâce aux réflecteurs de de 0m70 à 0m80 de diamètre qu'elles contiennent, la voie est convenablement éclairée à une assez grande distance en avant de la machine, ce qui n'est pas sans utilité, la surveillance de la voie n'étant pas aussi assidue que chez nous.

Toute machine est munie d'une cloche ; on s'en sert pour annoncer le départ des trains, ou l'arrivée sur un passage

à niveau; les mécaniciens qui manœuvrent dans les gares doivent également sonner la cloche. Lorsque la machine est attelée à un train, une corde qui traverse tous les wagons vient se rattacher à cette cloche.

Indépendamment de la cloche, chaque machine porte un sifflet de fortes dimensions; le mécanicien s'en sert pour donner des signaux aux employés du train et de la voie; le sifflet annonce aussi le départ du train; on sonne la cloche quelques instants avant le départ, pour appeler les voyageurs, tandis qu'on fait jouer le sifflet au moment précis de la mise en marche de la machine. Le sifflet sert encore à effrayer les animaux qui pourraient se trouver sur la voie; par suite de ses grandes dimensions, il produit, au lieu d'un son aigu, une sorte de rugissement qui le rend très-propre à ce dernier usage.

Les locomotives sont en général accompagnées d'un tender; ces tenders ne présentent rien de particulier; ils sont montés sur deux trucks à quatre roues. Certaines machines qui servent à pousser les trains, et des machines de gares, portent elles-mêmes leur eau et leur charbon.

Coût des Locomotives.

Le prix des locomotives est très-variable; certaines machines de gares ne coûtent guère que 20,000 frs., certaines fortes machines en coûtent près de cent mille; on peut admettre comme prix courant d'une machine locomotive de force ordinaire, pour voyageurs ou pour marchandises, de 50,000 à 60,000 francs.

J'ai sous les yeux l'inventaire du matériel du chemin de fer Boston et Maine, au 31 mai 1865; il y figure trente-sept locomotives, dont la valeur totale est évaluée à 858,000 francs environ, soit en moyenne 23,000 francs par machine. Les chiffres qui y sont portés comme valeur

des différentes machines varient de 6,000 à 61,000 francs. Ces chiffres sont moins élevés que ceux que j'indiquais tantôt, mais il faut tenir compte de deux choses : d'abord de ce que la valeur d'inventaire est inférieure au prix d'achat, ensuite de ce que les locomotives de ce chemin de fer sont moins fortes que la plupart de celles des lignes dont j'ai parlé jusqu'à présent.

Combustible.

Dans les premiers temps, les locomotives, sur presque toutes les lignes, brûlaient du bois; à mesure du renchérissement de ce combustible, on l'a graduellement remplacé par les combustibles minéraux. A part quelques chemins de fer placés dans une situation spéciale, la houille et l'anthracite sont à présent seuls employés. On a fait à diverses reprises des essais pour chauffer les locomotives à l'huile de pétrole, mais on n'est arrivé, paraît-il, à aucun résultat pratique.

L'emploi de l'anthracite comme combustible n'a jamais présenté aucune difficulté; cette matière ne donne pas de fumée, et brûle parfaitement, en couche d'environ 30 centimètres d'épaisseur, pourvu qu'on l'étende sur une grille d'une grande surface.

Il n'en a pas été de même avec la houille de nature plus ou moins bitumineuse; j'ai sous les yeux un mémoire adressé en 1859 par M. W.-J. Palmer, à la Compagnie du Pennsylvanie-Central, sur la possibilité d'employer la houille grasse comme combustible; il ne sera pas sans intérêt, je pense, de donner ici un aperçu de ce mémoire :

Deux variétés de houille étaient à la portée de la Compagnie; celle de Pittsburg, très-riche en matières volatiles et excessivement fumeuse, et la houille dite « semi-bitumineuse » de Broad-Top (Pennsylvanie), sorte de houille

grasse à courte flamme douée d'une tendance prononcée à l'agglutination. L'une ou l'autre de ces deux variétés était déjà employée pour l'alimentation des machines à marchandises du Pennsylvanie-Central, mais l'intensité de la fumée qu'elles dégageaient avait empêché d'en étendre l'usage aux machines à voyageurs.

La Compagnie soumit à l'examen de M. Palmer les questions suivantes :

1° Est-il possible de brûler dans les foyers des machines à voyageurs les houilles crues de Pittsburg et de Broad-Top, en ne produisant qu'une quantité tolérable de fumée? Quelles seraient les dispositions à employer pour atteindre ce but? Quelle serait l'économie réalisée par la substitution de la houille au bois?

2° La suppression de la fumée entraîne-t-elle une économie de combustible suffisante pour justifier l'application d'un système fumivore aux foyers des locomotives à marchandises?

3° Enfin, une question d'un intérêt purement local, concernant la valeur relative, pour l'usage de la Compagnie, des deux variétés de houille.

En ce qui concerne la combustion de la fumée, M. Palmer fit des expériences, tant sur des rampes que sur des voies de niveau, en employant successivement six locomotives dont les foyers étaient disposés de diverses manières. En voici la description sommaire :

1° Le système Gill, (fig. 38, pl. VII). La boîte à feu a 1^m73 de long, 0^m94 de large, 1^m19 de haut et se termine à l'avant par une chambre de combustion de 0^m76 de long, 0^m97 de large et 0^m71 de haut. La boîte à feu est barrée sur toute sa largeur par un bouilleur plat, en cuivre, de 0^m10 d'épaisseur, percé d'environ six cents trous de cinq millimètres de diamètre ; il repose sur l'avant de la grille et s'élève vers l'arrière jusqu'à la hauteur du centre de la porte de chargement, laissant pour le passage de la flamme un

intervalle de 0m40 de largeur contre la paroi d'arrière de la boîte à feu et de 0m25 de hauteur sous le ciel. Ce bouilleur est recouvert par une voûte en briques qui lui est parallèle; l'intervalle de cinq centimètres qui existe entre eux sert à introduire de l'air frais pris à l'avant du foyer, et lancé sur le feu à travers lė bouilleur ; cette prise d'air est réglée par une valve mobile. Il y a en outre introduction d'air par la porte de chargement, percée d'environ trois cents petits trous. Pour achever le mélange de l'air et de la fumée, la chambre de combustion est barrée par un mur en briques laissant seulement un espace libre de 0m25 à la partie supérieure.

Grâce à ces dispositions assez compliquées, cette machine a été tout-à-fait fumivore ; en consommant l'une ou l'autre espèce de houille, il se produisait seulement une coloration momentanée et très-légère immédiatement après le chargement ou le piquage du feu.

2° Le système Phleger est caractérisé par une boîte à feu très-longue — 2m97 — sur 0m91 de largeur et 0m86 de hauteur, barrée sur toute sa largeur par deux bouilleurs en cuivre; le premier de ces bouilleurs, contigu à la grille, est rivé au fond et aux parois de la boîte à feu et laisse un passage libre de 0m35 de hauteur à la partie supérieure; le second, placé entre le premier et la plaque tubulaire, est rivé aux parois et au ciel, et laisse en dessous de lui un passage de 0m30 de hauteur. Il n'y a d'introduction d'air que par la porte du foyer.

Ce système a été trouvé suffisamment fumivore lorsqu'on employait du charbon de Broad-Top; il se produisait alors seulement quelques bouffées de fumée après le chargement; mais la prise d'air n'était pas suffisante pour brûler la fumée de la houille de Pittsburg, excepté sur les fortes rampes, où l'activité du tirage faisait disparaître la fumée.

3° La machine « *Blue-Ridge* » s'est comportée à peu près de la même manière que la précédente. Le foyer de cette

machine était garni d'une voûte en briques, disposée à peu près de la même manière que les voûtes dont j'ai parlé précédemment, (fig. 36 et 37). La boîte à feu a 2m60 de longueur, 0m84 à 0m97 de largeur, 0m97 à 1m14 de hauteur, avec une chambre de combustion de 0m56 de longueur. La grille est formée de dix tubes bouilleurs de 57 millimètres de diamètre, s'étendant horizontalement sur 2 mètres de longueur à partir de la paroi d'arrière, se relevant ensuite verticalement pour aboutir, à 0m25 sous le ciel du foyer, à un bouilleur en cuivre, placé transversalement et rivé aux parois latérales. Les portes de chargement, au nombre de quatre, superposées deux à deux, sont percées de trois cent quarante trous de six millimètres; il n'y a pas d'autre prise d'air au-dessus du feu.

4° Dans le système Dimpfel, les tubes à fumée sont remplacés par des tubes bouilleurs. L'intérieur du corps de la chaudière est occupé, à peu près comme dans les chaudières de Cornouailles, par un tube de 1m04 de largeur, 0m76 de hauteur et 2m77 de longueur, rivé à un bout sur la boîte à feu, à l'autre bout sur la boîte à fumée. Il est rempli de tubes de 44 millimètres de diamètre, au nombre de cent quarante-deux; l'eau circule dans l'intérieur de ces tubes, et la flamme dans les intervalles entre eux. La longueur moyenne des tubes est de 3m60; leurs bouts s'adaptent respectivement dans le ciel de la boîte à feu et dans la paroi inférieure de la boîte à fumée. La boîte à feu a 1m60 de long, 1m00 de large et 1m32 de haut; il y a admission d'air au-dessus du feu par des trous percés dans les parois latérales et frontales de la boîte à feu, par deux prises d'air dans le corps cylindrique, enfin par des trous dans la porte de chargement.

Ce système n'a pas donné de résultats satisfaisants; avec la houille de Pittsburg, il se produisait une fumée épaisse après chaque charge; la fumée était très-forte également avec la houille de Broad-Top, pour peu qu'elle contînt de menu.

5° La machine n° 51, dont le foyer est du système Winans (voir la fig. 24). La boîte à feu a 2m13 de longueur, et les tubes à fumée 4m27. Cette machine, au point de vue de la combustion de la fumée, a donné à peu près les mêmes résultats que la précédente; la seule mesure adoptée pour la rendre fumivore consistait dans une abondante introduction d'air par les portes. La grille présentait à l'avant une partie pleine (*dead plate*) de 0m35 de longueur, disposition existant aussi dans les foyers des trois machines précédentes, quoique sur une longueur moindre; on maintient sur ce plateau du coke incandescent.

6° La machine n° 139, construite par Baldwin, a donné, avec les deux qualités de charbon, une fumée épaisse et continue; dans cette machine, le foyer avait la forme ordinaire, sans aucune disposition particulière pour brûler la fumée, à part une « *dead plate* » de 0m70 de longueur.

Au point de vue de l'économie du combustible, les six machines ne se classent pas dans le même ordre que pour la combustion de la fumée; il y a même des différences notables sous ce rapport pour chaque machine, d'après les conditions dans lesquelles l'expérience a été faite. Le tableau ci-dessous renseigne, pour chacune des six machines précitées, la consommation de combustible par kilomètre parcouru et la quantité d'eau évaporée par kilogramme de charbon consommé, dans deux séries d'expériences sur des parties différentes de la ligne. Chaque expérience a été répétée successivement avec de la houille de Pittsburg et de la houille de Broad-Top.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	GILL.	PFLEGER.	BLUE RIDGE	DIMPFEL.	No 51.	No 139.	MOYENNES.	OBSERVATIONS.
Poids des machines en tonnes.	29	30	33	27 1/2	28	28 1/2	»	
» avec tender »	45	45 1/2	50	43 1/2	44 1/2	44 1/2	»	
D'ALTOONA A MIFFLIN. —								
Avec la houille de Pittsburg.								
Consommation de charbon par kilom. (kos.)	14.31	11.95	12.39	14.58	15,40	14.47	13.85	Distance aller et retour : 163 kilomètres, sans rampes prononcées. Le train se composait de 20 wagons; poids total : 315.000 kos. Vitesse moyenne de marche : 21 kilomètres à l'heure.
Eau évaporée par ko de charbon. (kos.)	8.45	8.47	8.25	7.56	7.85	7.16	7.84	
Avec la houille de Broad-Top.								
Consommation de charbon par kilom. (kos.)	12.19	10.81	13.04	12.66	14.95	9.91	12.26	
Eau évaporée par ko de charbon. (kos.)	8.26	8.69	8.59	8.18	7.91	8.50	8.33	
D'ALTOONA A GALLITZIN. —								
Avec la houille de Pittsburg								
Consommation de charbon par kilom. (kos.)	35.41	39.90	35.86	46.88	34.24	58.87	41.81	Distance parcourue : 19 kilomètres en rampe à peu près continue de 18 millimètres par mètre. Train de 8 wagons, poids total : 125,500 kilogr. Vitesse moyenne : 12 kilomètres à l'heure.
Eau évaporée par ko de charbon. (kos.)	7.30	7.00	6.14	6.06	6.64	4.99	6.22	
Avec la houille de Broad-Top.								
Consommation de charbon par kilom. (kos.)	37.67	34.85	35.37	40.82	34.33	60.35	40.55	
Eau évaporée par ko de charbon. (kos.	6.07	6.67	6.41	6.69	7.14	4.28	6.03	

Pour pouvoir établir l'économie qui devait résulter de l'emploi de la houille, comme combustible, en remplacement du bois, M. Palmer a déterminé au moyen d'expériences spéciales les pouvoirs calorifiques relatifs des deux combustibles; il a choisi pour ces expériences la machine à voyageurs n° 156, comme convenant également pour la combustion de la houille et pour celle du bois. J'ai déjà donné précédemment (pages 225 et 226), quelques détails sur ces expériences, comprenant le poids et les dimensions de la machine, le poids du train et la vitesse de marche en montant la rampe de 18^{mm}. La machine n° 156 avait une boîte à feu spacieuse et profonde, avec une chambre de combustion de $1^{m}20$ de longueur, et une surface de grille de 1,50 mètres carrés.

En employant la houille de Pittsburg, la consommation, pour les 19 kilomètres de parcours, a été de 487 kilogrammes; l'évaporation d'eau correspondante, de 2,940 k^{os}.

Pour le même trajet, la consommation de bois de chêne sec a été de 1,126 kilogrammes, et la quantité d'eau évaporée, de 3,061 k^{os}, d'où il résulte que le pouvoir calorifique de la houille est à celui du bois dans le rapport de 2,31 à un, ou que une tonne de houille équivaut à 5 1/3 mètres cubes de bois.

M. Palmer établit comme suit la dépense comparative en houille et en bois, par kilomètre, sur chacune des trois divisions et sur l'ensemble de la ligne, en supposant qu'on emploie sur chaque division la houille qui y revient le moins cher, et en calculant la consommation de bois d'après la consommation effective de houille au moyen de l'équivalent ci-dessus indiqué.

DIVISIONS.	DE PITTSBURG	CENTRALE.	DE Philadelphie.	TOUTE LA LIGNE.
Distance, aller et retour. Kil.	369	425	341	1135
Prix du combustible sur tender.	Par tonne.	Par tonne.	Par tonne.	Par tonne
Houille de Pittsburg. Fr.	5.10	10.30	16.00	10.45
» de Broad-Top. »	12.20	10.70	14.90	12.60
Bois de chêne (par m³) »	3.40	3.85	5.50	4.25
Consommation du trajet entier.				
Houille . . . . tonnes.	3.22	3.13	2.79	9.14
Bois. . . . . m cubes	17 1/10	16 7/10	14 9/10	48 7/10
Prix de revient par kilomètre.				
Houille . . . . Fr.	0.045	0.075	0.130	0.080
Bois. . . . . »	0.160	0.150	0.240	0.180
Économie résultant de l'emploi de la houille.	72 %	50 %	46 %	55 %

Enfin, en tenant compte du surcroît de réparations nécessité par l'usure plus rapide des tubes à fumée, des barreaux de grille et des boîtes à feu, surcroît estimé à 535 francs par machine et par an, ou à fr. 0,016 par kilomètre parcouru, M. Palmer conclut que l'économie totale réalisée par la substitution de la houille au bois serait de 50 % environ.

Relativement aux moyens de rendre fumivores les foyers des anciennes locomotives, M. Palmer évalue de 2,600 à 3,400 francs la dépense qu'entraînerait la modification d'un foyer ordinaire d'après le système Gill, et à 1,300 francs la dépense pour le transformer en un foyer pareil à celui de la machine « *Blue-Ridge.* » Il conseille de donner la préférence à un système mixte dans lequel le bouilleur en cuivre du foyer Gill serait remplacé par un déflecteur en briques réfractaires, percé d'une quantité de petits trous, la chambre de combustion étant supprimée. Cette disposition, essayée par M. Palmer sur la machine n° 156 est,

d'après lui, plus fumivore, parce que l'air, en traversant le déflecteur en briques, s'échauffe avant d'être mis en contact avec les gaz qu'il doit brûler, tandis qu'il se refroidit au contact d'un déflecteur en cuivre rempli d'eau. Ce système est aussi beaucoup plus économique, puisque la boîte à feu reste intacte; la modification dans ce sens d'un foyer ordinaire coûterait 500 francs seulement et les frais d'entretien ne s'élèveraient pas à plus de 150 francs par an.

En comparant les consommations de combustible de la machine n° 156 avant et après l'introduction de ce système dans le foyer, M. Palmer trouve qu'un foyer fumivore réalise une économie de 13 1/2 p. % sur un foyer ordinaire; il en conclut que la différence n'est pas assez élevée pour balancer les frais de transformation d'après le système Gill, ni même d'après le système de « *Blue-Ridge* » mais que le système mixte exposé tantôt pourrait être avantageusement appliqué aux machines à marchandises, aussi bien qu'aux machines à voyageurs. Cette conclusion n'a pas été complétement adoptée ; on a trouvé qu'une simple voûte en briques réfractaires, établie dans le foyer, le rendait suffisamment fumivore pour la pratique; c'est ce qui a été fait pour un grand nombre de machines.

Graissage. — Primes aux mécaniciens, etc.

On emploie généralement pour lubréfier les essieux de locomotives et les pièces du mécanisme, l'huile de pétrole brute, soit seule, soit en mélange avec des huiles grasses. Pour le graissage des cylindres, on se sert de suif.

Souvent les compagnies de chemins de fer accordent aux mécaniciens et chauffeurs une prime sur l'économie d'huile, de graisse et de combustible.

A l'Illinois-Central, on alloue aux mécaniciens une quan-

tité déterminée d'huile par kilomètre de parcours de leur machine; cette quantité est fixé comme suit :

Pour le service	des voyageurs . . .	litres	0,015
Id.	des marchandises. .	—	0,020
Id.	des gares	—	0,012,5

Tout mécanicien qui pendant trois mois reste en-dessous de cette consommation reçoit en prime la moitié de l'économie réalisée. S'il consomme davantage, il est réprimandé et même renvoyé s'il continue à excéder les chiffres fixés.

Le même système a été en vigueur au Pennsylvanie-Central; mais, comme il existe un grand nombre de types de machines différents, employés à des services différents, on a trouvé impossible de déterminer pratiquement, d'une manière équitable, la consommation à allouer à chaque machine. Le principe des primes a cependant été conservé; voici sur quelles bases il fonctionne depuis le mois d'avril 1868 :

Chaque année, la quantité de combustible, d'huile, de graisse, etc., à consommer par kilomètre parcouru, pour l'usage des locomotives et des wagons, est fixée d'une manière collective pour chaque division de la ligne. Si la consommation réelle reste en-dessous du chiffre fixé, la moitié de l'économie réalisée est répartie entre les employés, sur le pied de 65 p. % aux mécaniciens, 30 p. % aux chauffeurs, 5 p. % à divers.

La première année, on a pris pour base la consommation de l'année précédente; en neuf mois, on a réalisé près de 100,000 francs d'économie, dont la moitié a été distribuée aux employés. Pour l'année suivante (1869), les consommations par kilomètre ont été fixées comme suit :

Charbon	19	à	20	kilogrammes.
Huile	0,0190	à	0,0235	litres.
Déchet de coton .	0,006	à	0,007	kilogrammes.
Suif	0,011	à	0,014	—

D'après les résultats des premiers mois de 1869, on évaluait aux sommes suivantes l'économie probable pour l'année entière :

Sur le combustible	75,000	francs.
Sur le graissage des wagons. . .	95,000	—
Id. des locomotives.	230,000	—
	400,000	francs.

Un système analogue est appliqué au chemin de fer de Philadelphie à Reading.

Service des locomotives.

Le parcours moyen effectué annuellement par les locomotives varie dans des limites assez larges d'un chemin de fer à l'autre; les chiffres suivants représentent le parcours annuel par locomotive sur différentes lignes; ils ont été obtenus en divisant le parcours kilométrique global par le nombre total de locomotives :

		KILOMÈTRES.
Chemin de fer	Philadelphie-Reading (1868). . .	26,922
Id.	Baltimore-Ohio (1865).	30,877
Id.	Pennsylvanie-Central (1868) . . .	32,235
Id.	Illinois-Central (1867)	36,068
Id.	Michigan-Sud (1868)	42,923

La nature de la ligne, le nombre des locomotives relativement à l'importance du trafic, et d'autres circonstances, influent nécessairement sur cette donnée.

La plupart des administrations de chemins de fer tiennent mensuellement des comptes détaillés du service fait par les locomotives et des dépenses correspondantes (*performance of locomotives*). Ces comptes sont générale-

ment sous forme de tableaux imprimés, renseignant, en regard du numéro de chaque locomotive, le parcours qu'elle a fourni pendant le mois, sa consommation en combustible, huile, graisse, etc., le coût de ces denrées et des réparations subies par la locomotive; en outre, diverses données sur celle-ci, telles que : poids, nombre et diamètre des roues motrices, dimensions des cylindres, etc., quelquefois aussi les salaires des mécaniciens et chauffeurs.

Les tableaux suivants présentent le résumé de ces renseignements pour trois chemins de fer.

Chemin de fer Pennsylvanie-Central.

Service des locomotives sur chacune des quatre divisions et sur l'ensemble de la ligne, pendant six mois (juin-décembre) de l'année 1868.

DIVISIONS.	DE PHILADELPHIE.	CENTRALE.	DE PITTSBURG.	DE TYRONE (1).	TOUTE LA LIGNE.
Ligne exploitée. . . . . kilomètres.	170	212	185	127	694
Nombre moyen de machines en service	103	103	154	16	376
(2) » » » en réserve ou en réparation . .	12	17	20	3	52
Parcours moyen par machine et par mois . . . . kilomètres.	3,505	3,555	3,071	2,500	3,298
Consommation par kilomètre parcouru :					
De bois. . . . . mètres cubes.	0,0044	0,0071	0,0083	0,0075	0,0068
De houille . . . . kilogrammes.	14,3	16,1	16,8	16,0	15,8
D'huile . . . . litres.	0,0169	0,0174	0,0285	0,0118	0,0213
De coton . . . . kilogrammes.	0,0052	0,0056	0,0082	0,0038	0,0064
De suif. »	0,0086	0,0102	0,0143	0,0089	0,0112
Coût par kilomètre parcouru :					
Du combustible . . . . francs.	0,1407	0,1716	0,1844	0,1736	0,1676
Du graissage. . . . . »	0,0277	0,0301	0,0460	0,0225	0,0352
Des réparations. »	0,3635	0,2431	0,3135	0,3349	0,3080
Dépense totale par kilomètre parcouru . . . . francs.	0,5319	0,4448	0,5439	0,5310	0,5108

(1) Cette division, qui n'a pas été mentionnée jusqu'à présent, se compose de deux embranchements.
(2) Ne sont comprises dans ce nombre que les machines qui n'ont fait absolument aucun service.

Chemin de fer Pennsylvanie-Central.

Consommations et dépenses des locomotives pour les divers services pendant l'année 1868.

NATURE DES OBJETS de CONSOMMATION.	QUANTITÉS CONSOMMÉES PAR KILOM.	COUT DES CONSOMMATIONS PAR KILOMÈTRE. VOYAGEURS. Minimum.	VOYAGEURS. Maximum.	MARCHANDISES Minimum.	MARCHANDISES Maximum.	MANŒUVRES. Minimum	MANŒUVRES. Maximum.	ENSEMBLE.
		francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
Combustible kos	18,25	0,098	0,126	0,164	0,212	0,126	0,244	0,1735
Huile . . litres.	0,022							
Coton. . . . kos	0,007	0,022	0,037	0,030	0,051	0,029	0,043	0,0368
Suif. . . . . »	0,011							
Réparations. .	»	0,055	0,494	0,191	0,374	0,126	0,332	0,2851
Dépenses totales	»	0,174	0,632	0,402	0,637	0,285	0,577	0,4954

Chemin de fer Illinois-Central.

Consommations et dépenses des locomotives par kilomètre parcouru.

ANNÉE 1867.	QUANTITÉS.	DÉPENSES.
		Francs.
Parcours kilométrique, total.	6.059.362	»
Nombre moyen de wagons par train. . .	12 1/3	»
Salaires des mécaniciens et chauffeurs . .	»	0.1460
Consommation de combustible	kos 17.75	0.1685
Idem d'huile et dépense de graissage.	litres 0,0199	0.0169
Coût des réparations	»	0 3413
Id. du nettoyage	»	0.0273
Dépenses totales par kilomètre parcouru.	»	0.7000

Enfin, on trouvera ci-dessous le détail complet des dépenses qu'entraîne le service des trains de voyageurs, de marchandises et de charbon au chemin de fer de Philadelphie à Reading. Les chiffres de ce tableau représentent le coût total, par train de chaque catégorie, pour le trajet entier de Pottsville à Philadelphie.

Chemin de fer de Reading.

Coût moyen de la traction de chaque catégorie de trains en 1868.

TRAINS DE	Voyageurs (1).		Marchandises (2).		Charbon (3).	
	QUANTITÉS.	VALEURS.	QUANTITÉS.	VALEURS.	QUANTITÉS.	VALEURS.
Salaires.		FR.		FR.		FR.
Mécaniciens . . . . . journées.	1	13 11	1	13 60	2	27 74
Chauffeurs. . . . . . »	1	8 17	1	8 70	2	18 54
Conducteurs. . . . . »	1	14 33	1	9 12	2	18 62
Préposés aux freins, etc. »	2 6/10	17 59	2 8/10	24 89	6	53 81
» aux bagages. »	1	8 06	»	»	»	»
Combustible.						
Anthracite. . . . kilogramme.	2,100	23 52	3,430	38 42	10,100	112 71
Bois d'allumage . . . m. cube.	0,544	3 08	0,616	3 50	0,906	5 13
Graissage des						
Locomotives	»	4 22	»	4 33	»	8 97
Wagons	»	0 76	»	1 63	»	10 07
Entretien des						
Locomotives	»	36 10	»	50 39	»	99 86
Wagons.	»	33 86	»	87 32	»	230 15
Eau. . . . . m. cubes.	15	1 06	26 1/2	1 86	75 7/10	5 32
Machine d'allège	»	»	»	»	»	11 82
Frais de stations.	»	11 74	»	44 57	»	52 63
Diverses	»	14 67	»	17 82	»	
Dépenses totales . . »		190 27		306 15		675 37

(1) Longueur du trajet : 150 kilomètres. Le nombre moyen de voyageurs par train est représenté par 47 3/4 voyageurs à 150 kilomètres, (*through passengers.*)

(2) Trajet : 150 kilomètres. Charge moyenne : 187 tonnes, équivalant à 82 tonnes à 150 kilomètres. (*average through load*)

(3) Trajet : 306 kilomètres y compris le retour à vide du train. Charge moyenne : 522 tonnes, équivalant à 459 tonnes à 153 kilomètres.

Wagons.

Le matériel de transport des États-Unis est construit sur un plan absolument différent de celui qui est généralement adopté en Europe ; il est caractérisé par l'emploi des trains articulés pour supporter les wagons.

Les wagons à voyageurs étant très-longs, ce qui présente d'incontestables avantages au point de vue de l'aménagement intérieur et du service, on conçoit que les trains articulés leur sont indispensables ; il est certain aussi que les trucks donnent un roulement plus doux que les essieux fixes.

Le même système est appliqué aux wagons à marchandises, même à des wagons tellement courts que leurs quatre essieux n'occupent guère plus de longueur que les deux essieux de nos wagons. L'emploi du truck sous les wagons à marchandises a pour résultat d'élever le rapport du poids mort à la charge utile ; le motif pour lequel il a été adopté paraît se trouver dans la crainte, peu fondée, je pense, que deux essieux ne soient pas suffisants pour résister à la charge ; d'ailleurs, il existe aussi des wagons à marchandises qui n'ont que deux essieux, mais leur nombre est relativement très-restreint.

Wagons à voyageurs.

Les wagons à voyageurs ont généralement les dimensions suivantes :

Longueur : 14^{m}50 à 20 mètres, ordinairement 16 mètres.
Largeur : 2^{m}75 à 3 mètres.
Hauteur : 2^{m}50 environ à l'intérieur.

La hauteur de la caisse, y compris l'épaisseur du plancher, et l'évent qui règne sur toute la longueur du toit, est

souvent de 3m20, ce qui correspond à une hauteur totale de 4m20 au dessus du rail.

On voit dans les fig. 44, 45 et 46, pl. VII, la disposition intérieure des wagons, qui est partout la même. De chaque côté se trouve une rangée de siéges à deux places, disposés transversalement à l'axe du wagon. Ces siéges ont 0m90 de longueur, 0m45 à 0m50 de largeur et sont espacés d'axe en axe d'un mètre. Il reste entre les deux rangées un passage libre d'environ un mètre de largeur, dans lequel circulent les employés et les voyageurs. Un ou deux poëles sont placés dans les angles; un angle est occupé par un cabinet d'aisance, un autre par une fontaine.

Il y a de douze à dix-huit siéges par rangée, c'est-à-dire de cinquante à septante places; on peut compter en moyenne sur soixante places par wagon. A chaque banc correspond une fenêtre garnie d'une glace mobile et d'une persienne qui glissent dans des rainures et s'ouvrent de bas en haut. Les siéges et leurs dossiers sont rembourrés et garnis en velours. Comme les Américains n'aiment pas à voyager à reculons, les dossiers sont supportés par deux tringles articulées au milieu des bras latéraux des siéges, de sorte qu'on peut les retourner et les placer d'un côté ou de l'autre du banc, suivant le sens de la marche du wagon (fig. 47). Sur certains chemins de fer, le dossier est maintenu par une petite serrure dont le conducteur a la clef; il vient alors retourner tous les dossiers lorsque le wagon doit rebrousser.

Le wagon est terminé à chaque extrémité par une plate-forme communiquant avec l'intérieur par une porte. Il y a sur les deux côtés de ces plates-formes un escalier de trois marches par lequel on y monte; le troisième côté est garni d'une balustrade interrompue au milieu, pour permettre le passage; il est défendu aux voyageurs de se tenir sur les plate-formes ou de circuler d'un wagon à

l'autre pendant que le train est en marche; je dois ajouter que je n'ai jamais vu cette défense observée.

(Fig. 52, pl. VIII.) Quelquefois les wagons sont réunis deux à deux par une sorte de pont, avec garde-corps latéraux; le pont et les garde-corps sont formés de lames de fer enchevêtrées qui glissent l'une dans l'autre, de manière à se prêter à tous les mouvements des wagons. Du reste, même en l'absence de ces ponts, le passage d'un wagon à l'autre ne présente aucun danger; l'intervalle n'est pas large, et on peut se tenir à la balustrade et aux montants qui supportent le toit de la plate-forme.

Les wagons sont accouplés deux à deux au moyen d'une barre d'attelage ayant la forme d'un maillon de chaîne à section carrée. Chacune de ses extrémités est retenue par un boulon dans une mortaise pratiquée dans une forte pièce en fer qui est fixée sous la plate-forme. La barre d'attelage est très-courte, de manière à mettre en contact l'une avec l'autre ces pièces, qui servent ainsi de butoir, et sont arrondies à leur extrémité pour mieux se prêter au passages des courbes. On n'emploie pas de chaînes de sûreté.

Wagons à lits, etc.

Sur toutes les lignes importantes, les trains de nuit comprennent au moins un wagon à lits, (*sleeping-car*). Ces wagons sont disposés d'une manière très-confortable; ils servent pendant le jour comme les wagons ordinaires; pour la nuit, chaque couple de siéges, formant ce qu'on appelle une « *section* » est transformée en deux lits (*berth*) superposés, comme dans les navires. Les dispositions adoptées pour opérer cette transformation diffèrent plus ou moins entre elles; on peut s'en faire une idée générale par l'inspection des fig. 48 et 49, pl. VIII, dans lesquelles on voit une section établie pour le jour à côté d'une autre

disposée pour la nuit. Dans ce système, qui est assez répandu, les siéges sont placés transversalement, comme dans les wagons ordinaires, seulement ils se font face deux à deux au lieu d'être l'un derrière l'autre et ils ne sont destinés chacun qu'à une personne. La banquette de chaque siége glisse dans des rainures pour s'avancer jusqu'au milieu de la « section ; » elle s'appuie alors d'un côté sur la paroi du wagon, de l'autre sur une tringle qu'on enlève à volonté. Dans son mouvement en avant, la banquette entraîne le dossier, qui y est fixé par une charnière, et qui se rabat horizontalement, de manière à remplir l'espace laissé vide par la banquette. On obtient ainsi une surface horizontale pour le lit inférieur. Pour le lit supérieur, un châssis de dimensions convenables est fixé à charnière à la paroi du wagon, un peu au-dessus des fenêtres; pendant le jour, il est relevé obliquement contre le plafond; sa surface inférieure est décorée de peintures qui font suite à celles du plafond et des parois, de sorte qu'on ne s'aperçoit pas de sa présence; la nuit, il est soutenu dans une position horizontale, soit par des tringles articulées, soit par deux chaînes qui s'enroulent sur des bobines à ressorts. Il ne reste plus alors qu'à disposer sur les lits les matelas, draps, couvertures et oreillers; pendant le jour, ces objets sont emmagasinés, partie dans des caisses réservées sous les bancs, partie dans l'espace triangulaire entre le plafond et le châssis du lit supérieur; le reste dans un cabinet spécial ménagé dans un angle du wagon. Les lits sont séparés l'un de l'autre par des cloisons fixes ou amovibles, et fermés par des rideaux du côté du couloir.

Souvent aussi le lit supérieur se relève entièrement et s'applique exactement contre le plafond; sa tranche est dissimulée derrière une corniche.

Quelquefois les siéges sont disposés longitudinalement, et s'avancent vers le milieu du wagon pour former le lit

inférieur. Ce système a l'avantage de laisser pendant le jour un vaste espace libre, espèce de salon dans lequel on peut placer des chaises et des fauteuils, et s'installer à l'aise.

Dans certains wagons à lits, entre autres sur la ligne du Chicago-Nord-Ouest, on peut placer entre chaque couple de siéges une table maintenue par un tenon dans la paroi du wagon et un arc-boutant mobile; entre les deux fenêtres se trouve une glace étamée que l'on peut lever et baisser à volonté, et derrière laquelle se trouve une lampe qui est allumée le soir.

On donne aux lits 1m85 à 1m90 de longueur; la largeur du lit inférieur est de près d'un mètre; celle du lit supérieur n'est souvent que de 0m75. Les wagons, ayant de seize à dix-huit mètres de longueur, contiennent douze à quatorze « sections, » soit vingt-quatre à vingt-huit lits, quelquefois trente-deux lits.

Les wagons à lits sont sous la garde d'un employé spécial, qui n'y laisse pénétrer que les personnes munies de billets réguliers, et qui est chargé de faire et défaire les lits. Le tarif, outre le prix du voyage, est de fr. 5.70 à 7.60 par lit et par nuit. Généralement, dans chaque wagon, il y a deux ou quatre lits isolés deux à deux dans de petites chambres (*state-room*), et dont l'usage se paye plus cher.

Les wagons à lits n'appartiennent pas toujours à la compagnie sur la ligne de laquelle ils circulent; il existe plusieurs grandes compagnies, dites de transportation, qui fournissent les wagons; la compagnie de chemin de fer perçoit le prix du transport; la compagnie de transportation, le prix du lit; quelquefois cette dernière doit payer, pour la traction de ses wagons, une rétribution motivée sur ce que les wagons à lits, plus lourds que les wagons ordinaires, ne peuvent contenir au maximum que trente-deux voyageurs au lieu de cinquante ou soixante.

Indépendamment des wagons à lits, il existe des wagons de nuit (appelés, si j'ai bonne mémoire, *sleeping chair coach*), qui conviennent surtout aux voyageurs prenant le train pour une partie de la nuit seulement; les siéges sont des fauteuils que l'on peut faire basculer fortement en arrière; chaque voyageur a, pour appuyer ses pieds, une planchette fixée au fauteuil qui se trouve devant lui.

Sur certaines lignes, surtout sur celles des États de l'Ouest, qui sont en général les plus avancées sous le rapport du confort, les trains-express comprennent un wagon restaurant. Des tables sont placées entre les bancs, qui se font face; la cuisine se fait dans une chambre séparée, qui occupe le milieu du wagon; un couloir, de chaque côté de cette chambre, met en communication l'avant et l'arrière du wagon, qui servent de salle à manger. Là où il n'existe pas de wagons-restaurants, les trains font arrêt à des stations déterminées, pour les repas; on y est en général très bien et surtout très-promptement servi.

Il n'est pas tout-à-fait exact de dire qu'il n'existe aux États-Unis qu'une seule classe de voitures; la plupart des trains ne comprennent, il est vrai, qu'une seule sorte de wagons; cependant beaucoup de compagnies délivrent des billets de trois classes : la première classe s'entend des voitures ordinaires; le tarif de troisième classe, très-modéré, s'applique aux trains spéciaux d'émigrants. Quant à la seconde classe, je ne sais trop si elle existe réellement; j'ai vu quelquefois des wagons avec baucs en bois, que l'on m'a dit être des wagons de seconde classe; ils servent ordinairement de tabagie; on y relègue aussi quelquefois les gens de couleur.

Sur beaucoup de lignes, on a établi d'une manière détournée une différence de classe en créant des wagons-salons, (*drawing-room car*). Ces wagons, qui constituent une sorte d'extra-première classe, sont très-commodément

aménagés et décorés avec luxe; on y paie une surtaxe fixe, généralement un dollar, par place, quelle que soit la durée du voyage; c'est un moyen d'attirer le public; en même temps on élude les lois qui, dans certains États, fixent un tarif maximum. Il y a des wagons-salons qui coûtent près de 100,000 francs.

J'ai vu au chemin de fer Chicago-Nord-Ouest un wagon de luxe exclusivement réservé aux hauts fonctionnaires de la compagnie (*directors'car*), il est porté par deux trucks à six roues; le plancher du milieu du wagon, entre les trucks, descend presqu'au niveau de la voie, pour former un vaste salon de 3m50 de hauteur, magnifiquement meublé et décoré; à chaque côté de ce salon se trouve une chambre à coucher contenant six lits. Les deux extrémités du wagon, au-dessus des roues, contiennent des antichambres, des cabinets de toilette, magasins à provisions, etc. La compagnie du Chicago-Nord-Ouest met souvent ce wagon à la disposition d'autres compagnies de chemins de fer, dans les grandes occasions; on se proposait de le faire servir au voyage d'inauguration de la ligne du Pacifique, de New-York à San-Francisco.

En somme, la disposition américaine des wagons permet l'introduction d'une foule de perfectionnements à peu près impossibles avec notre système; elle donne toute sécurité aux voyageurs et aux employés, et rend beaucoup moins pénible le service de ceux-ci. Par contre, la force motrice est moins bien utilisée, un wagon, qui pèse au moins 14,000 kilogrammes, ne pouvant contenir que cinquante à soixante voyageurs; quant aux wagons à lits, qui n'en contiennent que trente-deux au maximum, ils pèsent jusqu'à 23,000 kilogrammes. J'ajouterai que la faculté de circuler dans le train donne lieu à un va-et-vient continuel, quelquefois gênant.

Chauffage et éclairage.

Le système américain simplifie beaucoup le problème du chauffage des wagons ; on place dans un coin un poêle, quelquefois deux poêles dans deux angles opposés du wagon; le feu est entretenu par les préposés aux freins.

A part le danger que présentent les poêles en cas d'accident, ils constituent un mode de chauffage assez cher, à cause du peu d'effet utile qu'on obtient du combustible, et surtout à cause de la perte de place (trois à quatre places par poêle). De plus, le wagon est chauffé d'une manière assez inégale.

On a employé divers moyens pour remédier à ces inconvénients. Au chemin de fer Michigan-Sud on a installé sur un certain nombre de wagons une chaufferie par circulation d'eau. Un petit fourneau dans lequel la combustion se soutient pendant douze heures sans qu'il soit besoin de recharger, est suspendu sous le plancher du wagon vers le milieu de sa longueur ; l'eau vient se chauffer dans un serpentin placé dans ce fourneau, s'élève à une certaine hauteur dans un tuyau accolé à la paroi du wagon, afin d'acquérir la pression nécessaire à la circulation ; elle passe successivement dans des tuyaux en *U* placés sous les bancs, et retourne finalement au serpentin. Le coût de l'installation de cet appareil est de 1,700 francs environ.

L'air chaud est aussi fréquemment employé pour le chauffage ; un fourneau à foyer intérieur avec une enveloppe dans laquelle arrive l'air frais, est suspendu sous le wagon. L'air chaud est répandu dans l'intérieur par des bouches de chaleur qui s'ouvrent sous les bancs.

On emploie encore un autre système de chauffage par circulation d'air. Un poêle est enfermé dans un cabinet à l'angle du wagon ; l'air du dehors s'engouffre, par l'effet de

la vitesse du train, dans le pavillon évasé d'un gros tuyau en tôle qui l'amène dans le cabinet, à peu de hauteur au-dessus du plancher; l'air s'échauffe en circulant autour du poêle, et se répand ensuite dans le wagon par des bouches placées sous les bancs, ou par une ouverture unique.

Ce système trouve une application assez fréquente pour la ventilation des wagons en été; dans ce cas, le poêle est supprimé et on place au pied du tuyau d'entrée d'air un bac plein d'eau pour abattre la poussière. Les fenêtres sont condamnées, sauf une petite lucarne à la partie inférieure. Une ouverture pour l'échappement de l'air vicié est pratiquée au bas du wagon, à l'extrémité opposée à l'entrée d'air; elle est surmontée d'une cheminée. Ce système de ventilation donne de très-bons résultats lorsque le train est en marche, mais, pendant les arrêts un peu longs, la ventilation est complétement suspendue, et la chaleur devient insupportable.

Les wagons sont éclairés le soir au moyen de deux ou trois lampes à l'huile de pétrole suspendues aux parois; quelquefois ils sont éclairés au gaz.

Construction et prix des wagons.

Les wagons à voyageurs sont construits entièrement en bois; les longerons sont en sapin; ils sont ordinairement armés au moyen d'un tirant en fer fixé aux deux extrémités et appuyé vers le milieu sur deux supports en fer ou sur des traverses en bois, qui font saillie en-dessous du châssis. La charpente entière est quelquefois en bois de sapin; souvent on fait les traverses en bois de frêne et les montants en bois de chêne. Ces essences de bois sont obtenues, à l'atelier central du chemin de fer de Pennsylvanie, aux prix suivants :

Sapin et chêne : fr. 39 à 40 le mètre cube.
Frêne . . . . . » 29 . . . . »

Les wagons ont un double plancher, cloué au-dessus et en-dessous du châssis; les parois sont également revêtues de planches à l'intérieur et à l'extérieur.

Les wagons à voyageurs et surtout les wagons à lits sont généralement décorés à grands frais; voici quelques chiffres relatifs au coût des wagons.

Chemin de fer Michigan-Sud.

Wagons ordinaires : 23,000 à 27,000 fr.
Wagons à lits : . . . 42,000 à 46,000 »
Wagons-salons jusqu'à . . . . 95,000 »

Chemin de fer de Pennsylvanie.

Wagons de première classe . . . . . . 18,000 fr.
Wagons de troisième classe (émigrants) . 11,500 »

Je ferai observer en passant que le matériel de cette dernière Compagnie, parfaitement bien construit d'ailleurs, se distingue par sa grande simplicité de celui de la plupart des autres Compagnies.

Wagons à marchandises.

Les wagons à marchandises se classent en diverses catégories, suivant le genre de transport auquel ils sont destinés; on peut distinguer d'une manière générale :

1° Les wagons fermés (*box car*, *house car*, etc.), pour le transport du bétail, du grain, et en général des marchandises sujettes à s'avarier par les intempéries; ils ont 7 à 8 mètres de long, 2m40 à 2m50 de large, 2 mètres à 2m20 de haut; ils chargent 7,000 à 10,000 kilos et pèsent à vide 7,000 à 9,000 kilos. Ils coûtent en moyenne

3,000 francs environ. Les wagons à bestiaux sont à claire-voie ; pour le petit bétail, ils sont à deux compartiments superposés. Le chargement et le déchargement se font par des portes percées dans les longs côtés.

2° Les wagons plats ou découverts (*flat car, gondola car,* etc.), pour le transport des bois, des pierres, du fer, du charbon, etc. Leur longueur est de 8m50 à 9m50, leur charge de 9,000 à 10,000 kilos, leur poids mort de 5,000 à 7.000kos, et leur prix d'environ 2,400 francs.

On emploie souvent des wagons d'une disposition particulière pour le transport du charbon, sur les lignes où cette denrée est l'objet d'un trafic important. Les fig. 50 et 51, pl. VIII, représentent un wagon à charbon du chemin de fer Baltimore-Ohio ; le corps du wagon est formé de trois caisses en tôle, à coins arrondis, terminées à leur partie inférieure par une partie cônique, avec une porte de déchargement au fond. Ces wagons ont 5m50 de long, 2m30 à 2m40 de large ; les caisses ont environ 1m30 de hauteur ; le chargement est de 9 à 11 tonnes, et le poids mort de 5 $^1/_2$ tonnes.

La construction des wagons à marchandises ne présente en général rien de bien particulier ; je signalerai seulement le système inventé par M. D.-H. Dotterer, directeur de l'atelier de construction de wagons de « *Union Car C°* » à Philadelphie. Il consiste à former les parois des wagons fermés de madriers de 45mm d'épaisseur, placés de champ, superposés l'un sur l'autre, et traversés verticalement par des tirants en fer creux armés à leurs deux bouts d'écrous qui serrent les madriers entre le châssis du wagon et le châssis du toit. A part ces deux châssis, il n'entre dans la construction du wagon aucune pièce de charpente ; les angles sont consolidés par des ferrures ; au milieu de chacune des parois latérales est ménagée une porte. Ces wagons pèsent, paraît-il, environ 800kos de moins que les wagons ordinaires ; un poids de dix tonnes,

placé dans la partie centrale du wagon, entre les deux portes, ne ferait fléchir le longeron que de deux à six millimètres.

M. Dotterer veut appliquer un système analogue aux wagons à voyageurs.

Trucks de wagons et suspension.

On emploie pour la suspension des wagons des ressorts de diverses natures :

Le ressort en lames d'acier superposées, pareil à celui que nous employons pour le même usage.

Le ressort en caoutchouc; c'est une rondelle en caoutchouc vulcanisé, à circonférence un peu bombée, mesurant de 15 à 20 centimètres en hauteur ainsi qu'en diamètre; souvent un anneau en fer embrasse, au milieu de la hauteur, la circonférence de la rondelle, pour l'empêcher de se déchirer. Quelquefois la rondelle est maintenue en place par un boulon qui la traverse suivant son axe.

Le ressort dit « de laine » *(wool spring)*, composé de douze à dix-huit petits ressorts à boudin, en acier, comprimés entre deux boîtes en fonte emboîtées l'une dans l'autre. Le nom de cet appareil lui vient de ce que les boîtes sont ordinairement bourrées de laine pour empêcher ces petits ressorts de se déplacer. Cependant on emploie aussi ces ressorts sans bourrage.

Le ressort en spirale *(volute-spring)*, formé d'une lame d'acier enroulée sur elle-même en forme de spirale cônique.

Le dernier de ces systèmes n'est pas très-répandu ; le ressort de laine est souvent employé pour les wagons à marchandises; le ressort en caoutchouc est d'un usage très-général, surtout pour les wagons à marchandises; pour les wagons à voyageurs, on l'emploie, soit seul, soit en combinaison avec le ressort d'acier ordinaire.

Les trucks sont disposés de diverses manières: Les trucks des voitures à voyageurs sont assez compliqués, et d'une construction très-soignée; ils sont toujours à double ou à triple suspension; ils ont quatre, six ou huit roues. Dans l'Ouest, on emploie beaucoup le truck à six roues pour les wagons ordinaires; le truck à huit roues est réservé pour les wagons à lits. Dans les États de l'Est, les wagons ordinaires n'ont que huit roues; les wagons à lits en ont souvent douze.

Les fig. 55 et 56, pl. VIII, représentent le truck à quatre roues des wagons à voyageurs du Pennsylvanie-Central; la disposition de ce truck se retrouve sur beaucoup de chemins de fer.

Le châssis du truck est en bois; il repose sur quatre ressorts en caoutchouc supportés par deux fléaux en fer dont les bouts recourbés s'appuient sur les boîtes à graisse. Outre cette suspension, il y en a une seconde, dans le sens transversal; elle se compose de deux couples de trois ressorts en acier, comprimés entre deux traverses en bois; la traverse inférieure est suspendue au châssis du truck par quatre petites bielles qui permettent un jeu latéral; la traverse supérieure joue entre deux traverses fixes qui lui servent de guides, et porte une crapaudine en fonte sur laquelle pivote l'extrémité du wagon. La crapaudine et le pivot sont maintenus par une cheville qui les traverse en leur centre. Aux deux bouts de la traverse supérieure se trouvent des supports pour empêcher la caisse du wagon de pencher de côté. Ces supports ont souvent la forme d'un secteur circulaire ayant son centre articulé sur la traverse, et en contact par sa circonférence avec une plaque de fonte boulonnée sous le longeron du wagon. D'autres fois, ce sont de simples frottoirs.

On voit, fig. 57, le truck à six roues employé au chemin de fer Illinois-Central; le châssis est suspendu au moyen de six ressorts en acier, équilibrés entre eux, et placés

deux à deux sur chaque essieu. La crapaudine sur laquelle pivote le wagon est fixée sur un cadre en bois placé au milieu du truck; il est embrassé par un autre cadre en bois, sur lequel il repose; huit petites plaques de caoutchouc sont intercalées entre les deux cadres pour adoucir le contact; le cadre extérieur dépasse le châssis des deux côtés, et porte des supports pour la caisse du wagon; chacune de ses traverses, placée entre les roues parallèlement aux essieux, s'appuie sur deux ressorts en caoutchouc, supportés par une traverse en fer suspendue au châssis du truck de manière à pouvoir osciller dans le sens transversal.

Le même chemin de fer emploie pour les wagons à lits un truck à six roues d'une disposition analogue; les quatre ressorts en caoutchouc sont remplacés par autant de ressorts en acier disposés dans le sens de la longueur du wagon.

La fig. 59, pl. VIII, donne une idée de la disposition du truck à huit roues à triple suspension employé au Michigan-Sud pour les wagons à lits. Il se compose d'un cadre en bois au centre duquel pivote l'extrémité du wagon, et qui pivote lui-même par ses extrémités sur le centre de deux trucks à quatre roues. Chacun de ceux-ci est suspendu sur quatre ressorts en caoutchouc, placés deux à deux directement au-dessus des essieux. Le wagon est suspendu sur le cadre, et chacun des pivots de celui-ci sur les trucks, comme dans le système ordinaire décrit tantôt, au moyen d'une paire de traverses oscillantes comprimant deux ressorts en caoutchouc.

Les wagons montés sur seize roues roulent d'une manière extrêmement moëlleuse; cependant, à cause de la complication de cette disposition, beaucoup des meilleurs constructeurs préfèrent employer les trucks à six roues; ceux-ci donnent aussi des résultats très-satisfaisants pour les voyageurs; en effet, les chocs reçus par une paire de

roues au passage des joints des rails ne sont qu'en partie transmis au wagon, puisqu'il y a toujours quatre roues qui portent. Du reste, même avec les trucks à quatre roues, le roulement est suffisamment doux; le wagon prend des mouvements d'une assez grande amplitude, mais avec peu de chocs.

Les trucks des wagons à marchandises sont d'une construction beaucoup plus simple et n'ont jamais plus de quatre roues.

La figure 58 représente le truck pour marchandises de l'Illinois-Central; les plaques de garde sont formées par les extrémités de deux cadres en fer placés verticalement et réunis entre eux, au milieu de leur longueur, par une moise en bois dans l'intérieur de laquelle la traverse qui porte le pivot du wagon est suspendue comme dans les trucks à voyageurs, au moyen de ressorts en caoutchouc ou de boîtes à ressorts; des ressorts de caoutchouc sont interposés entre les boîtes à graisse et la lame supérieure du châssis du truck.

Cette disposition, ou une disposition analogue, est généralement adoptée; souvent, on supprime les ressorts en caoutchouc placés sur les boîtes à graisse; d'autres fois, c'est la suspension transversale qui est supprimée.

On emploie au Baltimore-Ohio un truck d'une construction très-simple pour les wagons à charbon (fig. 50, 53, 54, pl. VIII). Les boîtes à graisse sont fixées deux à deux aux extrémités de traverses formées de deux lames en fer plat placées de champ. Sur ces traverses, au milieu de leur longueur, sont posés des ressorts en caoutchouc sur lesquels s'appuient les longerons du wagon. Une boîte en fonte, boulonnée au longeron, embrasse vers l'extérieur le cylindre en caoutchouc et la traverse de fer; le tout est maintenu en place par un boulon qui passe à travers le ressort et la partie inférieure de la boîte en fonte, et entre les deux lames de la traverse.

Roues de wagons.

Les roues en fer, avec bandages, ne sont pas en usage aux États-Unis ; on n'emploie que des roues pleines, en fonte, d'une pièce ; la surface de roulement est coulée en coquille, ce qui blanchit le métal sur 15 ^{mm} environ de profondeur ; le reste de la roue est moulé en sable. Ces roues servent sous les wagons, sous les tenders, et comme roues portantes sous les locomotives ; on leur donne divers profils.

Les fig. 62 et 63, pl. VIII, représentent en coupe et en élévation la forme adoptée pour les roues de wagons à l'Illinois-Central ; la partie centrale est creuse, et forme un renflement dans lequel se trouve le moyeu ; cette partie est continuée tout autour par un plateau qui va se raccorder à la jante et est renforcé par des nervures en *S*.

On fait aussi des roues dans lesquelles la jante est réunie au moyeu par un plateau renforcé par des nervures droites suivant le rayon.

Dans les roues des trucks de locomotives, le moyeu et la jante sont réunies par six ou huit bras, pour faciliter la visite et le graissage du mécanisme intérieur.

Pour les tenders et les locomotives, on a essayé de remplacer les roues en fonte par des roues coulées d'une pièce en acier ; bien que ces essais aient donné de bons résultats, l'usage de ces roues ne s'est pas généralisé jusqu'à présent.

Voici les dimensions, le poids et le prix des roues en fonte employées au chemin de fer de Pennsylvanie.

DESTINATION.	DIAMÈTRE.	Largeur.	POIDS.	PRIX.
	Mètres.	Mètres.	Kilogrammes	Francs.
Wagons à voyageurs.	0.84	0.12	254 à 263	87
» à marchandises.	0.66 à 0.84	0.12	173 à 246	50 à 73
Tender.	0.66 à 0.84	0.10	168 à 253	46 à 72

Ces données s'appliquent, à peu de chose près, aux roues employées sur les autres chemins de fer. Le plus grand diamètre que l'on donne aux roues est de 0^{m}.91 ; des roues de ce diamètre sont rarement employées. Le prix par cent kilogrammes est environ de 30 francs pour les roues des wagons à marchandises, et 34 francs pour celles des wagons à voyageurs.

Fabrication des roues.

On emploie ordinairement un mélange de diverses sortes de fontes pour la fabrication des roues de wagons ; la qualité du produit dépend essentiellement de la nature des fontes mises en œuvre et des proportions dans lesquelles elles sont mélangées. Ces proportions sont variables d'un établissement à l'autre et même dans chaque établissement. Dans certaines fonderies, on emploie exclusivement la fonte au bois, mais habituellement on fait entrer dans le mélange une quantité plus ou moins grande de fonte à l'anthracite, qui prend mieux la trempe *(chill)* et qui, d'ailleurs, n'est guère inférieure comme pureté à la fonte au bois. La fonte provenant de vieilles roues, ou d'autres objets hors d'usage, ne doit être employée qu'avec beaucoup de circonspection; quelquefois les vieilles fontes sont absolument exclues du mélange, surtout pour les roues destinées au service des voyageurs; cependant en général on en introduit de 20 à 25 p. °/₀, ou 30 p. °/₀ au maximum; il serait dangereux d'aller jusqu'à 50 p. °/₀; tous les hommes du métier s'accordent à reconnaître que rien n'est plus nuisible à la qualité de la roue qu'un excès de vieille fonte, qui rend le métal cassant.

La plupart des compagnies de chemins de fer ont des fonderies où sont coulées, en tout ou en partie, les roues nécessaires à leur consommation; il existe aussi plusieurs

grands établissements où l'on ne fait que des roues de wagons, et dont les produits sont très-renommés; c'est une fabrication qui demande beaucoup de soins et surtout une expérience toute spéciale.

Voici quelques renseignements sur la fabrique de roues en fonte de MM. A. Whitney et fils, à Philadelphie.

On n'emploie comme métal neuf que la fonte au bois à l'air froid; la proportion de vieilles roues admises dans le mélange est de 20 à 25 p. °/₀.

La fusion se fait au cubilot; un cubilot fond vingt tonnes de fonte par journée de onze heures, avec une consommation d'environ 200 k^os d'anthracite par tonne de métal brut.

La face du moule est faite d'un mélange de sable et de charbon gras finement pulvérisé, afin de donner une plus belle apparence à la roue; celle-ci est coulée avec le bourrelet par dessous; presque immédiatement après la coulée, on démoule, on vide le noyau; les roues sont retournées et transportées dans les fours à recuire; l'expérience a fait reconnaître la nécessité de démouler les roues toutes rouges et de les soumettre à un recuit plus ou moins prolongé, soit dans des fours, soit tout simplement dans des fosses hermétiquement fermées.

Chez MM. Whitney, les fours à recuire sont des cylindres en tôle revêtus à l'intérieur de briques réfractaires; ils sont au nombre de quarante-huit et peuvent contenir chacun dix-huit roues. Les roues y sont descendues au moyen d'une pince à trois branches qui agit automatiquement, et qui est manœuvrée par une grue hydraulique; de deux en deux roues on intercale un support pour faciliter la circulation des gaz.

Chaque groupe de seize fours, destiné à la coulée d'un jour, est chauffé par un foyer dont la flamme passe d'abord dans le four le plus rapproché; puis successivement dans les autres par des tuyaux en fonte. La température des

fours atteint presque le point de fusion de la fonte; lorsque toutes les roues sont enfournées et les fours fermés, on bouche le foyer, afin d'obtenir un refroidissement lent. Le recuit dure trois jours, terme généralement considéré comme suffisant.

La qualité du produit est surveillée de très-près ; tous les jours on coule une vingtaine de petits lingots représentant une portion de jante; leur pourtour est coulé en coquille; on les brise pour juger de la profondeur de la trempe et du grain de la fonte. On conserve ces prises d'essai pendant une semaine, pour pouvoir comparer les produits de plusieurs jours consécutifs.

Toutes les roues, l'une après l'autre, sont soumises à un examen minutieux par un ouvrier spécial; il fait sonner au marteau les diverses parties de la roue, pour s'assurer de l'homogénéité du métal, fait frapper le plateau et le moyeu de plusieurs coups d'une masse de douze kilogrammes, au choc de laquelle ils doivent résister; enfin, il essaie au burin la surface de roulement, pour voir si elle est suffisamment dure.

Le déchet total, tant par les pertes à la coulée que par les rebuts à l'épreuve, s'élève à 13 °/° environ du métal brut employé.

Les roues sont montées sur les essieux dans l'établissement même; on emploie pour aléser l'intérieur du moyeu des machines spéciales, sur la table desquelles la roue est centrée au moyen de trois petites cames à mouvement solidaire, qui viennent se mettre en contact avec la jante. La table tourne autour d'un axe vertical, l'alésoir n'a qu'un mouvement de haut en bas. Près de la machine se trouve une petite grue hydraulique pour mettre la roue en place et l'enlever, de sorte qu'un seul homme suffit à toute la manœuvre et peut aléser quarante à cinquante moyeux de roues par journée de dix à douze heures. La jante, étant coulée en coquille, reste brute.

Les essieux sont achetés au dehors, ou fournis par les compagnies de chemins de fer auxquelles les roues sont destinées. Les fusées et la partie qui s'emboîte dans la roue sont tournées dans l'établissement ; leur forme est absolument cylindrique, ainsi que l'alésage des roues ; l'essieu est forcé dans la roue à la presse hydraulique.

MM. Whitney fabriquent par jour au-delà de deux cents roues de wagons ; la consommation de fonte est de cinquante à soixante tonnes. L'établissement est très-bien outillé, et d'une disposition parfaitement conçue ; il y règne un ordre admirable.

Durée et résistance des roues en fonte.

Les roues en fonte, coulées d'une pièce, sont d'un très-bon usage ; on assure qu'il n'y a pas d'exemple de la rupture d'une roue en service ; il peut quelquefois s'y produire des fissures plus ou moins fortes, mais qui ne compromettent pas sérieusement la solidité de la roue ; du reste, les roues sont en général bien surveillées, et remplacées dès qu'elles donnent le moindre doute.

J'ai vu faire dans la fonderie de Mount-Clare, appartenant au Baltimore-Ohio, des épreuves qui prouvent la grande résistance que peut offrir une roue bien faite ; elles consistaient à faire frapper le plateau des roues, à tour de bras, par deux hommes armés de marteaux de dix à douze kilogrammes. On m'a montré une roue dont le plateau, épais de deux à trois centimètres, et dépourvu de nervures, avait reçu deux cent vingt-trois coups de masse, appliqués tous en un même point, sans autre résultat qu'une fissure étoilée dans le plateau ; on a encore donné après cela quatre-vingt-neuf coups sans pouvoir détacher le morceau, et la jante était restée parfaitement intacte. Cette roue était faite d'une fonte de qualité supérieure ; mais j'ai vu éprouver

une autre roue fabriquée dans les conditions ordinaires. On la frappait du côté des nervures de renfort du plateau, tous les coups étant appliqués à la même place, entre deux rayons. Ce n'est qu'après quatre-vingts coups qu'une fente s'est produite dans le plateau, et il a fallu encore quarante ou cinquante coups pour le trouer; quant à la jante, elle présentait seulement une fissure imperceptible à la fin de l'expérience.

J'ai vu aussi des roues que l'on croyait bonnes se fendre du dixième au dix-huitième coup de marteau. Cela provenait, m'a-t-on dit, d'un excès de vieille fonte dans le mélange; c'était une expérience qu'on avait tentée; elle a coûté assez cher puisque toute la coulée a dû être condamnée.

D'après des renseignements qui m'ont été fournis de diverses sources, la durée moyenne des roues varie de dix-huit mois à quatre ans; cela dépend, naturellement, de la charge qu'elles supportent, des courbes et des rampes que présente la ligne, et surtout du parcours kilométrique.

MM. Whitney m'ont dit, comme donnée résultant de huit ans d'observation au Pennsylvanie-Central, que les roues fabriquées dans leur établissement, employées dans diverses conditions, tant sous les locomotives et tenders que sous les wagons de toutes sortes, fournissent en moyenne un parcours de cent-quarante mille kilomètres avant d'être mises hors de service.

Une notice publiée par la fonderie de Ramapo (État de New-York), sous le titre de « *The Wheel, the Axle, and the Rail* », établit à ce sujet la statistique suivante :

« Le nombre de roues en service sur les 60,000 kilo-
» mètres de voie ferrée des États-Unis, n'est pas de moins
» de 1,250,000, fonctionnant sous 8,500 locomotives,
» 6,500 wagons à voyageurs, 2,700 wagons à bagages
» et 160,000 wagons à marchandises.

» Les roues des wagons à voyageurs, chargées en » moyenne de 3,000 kilogrammes, fournissent un parcours » de 72,000 kilomètres, correspondant à dix-neuf mois » de service ; pour les trains express, cette durée se réduit » à dix mois ; les roues de tender durent dix-huit mois. » Les roues des wagons à marchandises, sous une charge » moyenne de 1,300 kilogrammes, durent un peu plus de » trois ans. »

Essieux.

On emploie pour les wagons des essieux en fer ou en acier. Au Pennsylvanie-Central, les essieux sont tantôt en fer, tantôt en acier pour les wagons à marchandises, toujours en acier pour les wagons à voyageurs.

J'ai vu à Cleveland (Ohio), la fabrique d'essieux en fer de MM. Otes et C[ie], renommée pour l'excellente qualité de ses produits. Il entre dans la fabrication une forte quantité de vieux fers de diverses provenances, auxquels on associe du fer obtenu dans l'établissement par le puddlage d'un mélange de fonte au bois et de vieilles roues de wagons. Ces fers sont mis en paquets et laminés en barres rondes ayant la moitié de la longueur de l'essieu. L'essieu est fini sous un marteau frontal dont la tête et l'enclume portent des cannelures demi-rondes, de différentes grandeurs, qui servent à calibrer les diverses parties.

Les essieux de MM. Otes se vendent fr. 0.42 le kilogramme. Les essieux en acier de Vickers (Angleterre), ayant 0[m],09 de diamètre, se payent environ fr. 1.50 le kilogramme.

La notice que j'ai citée tantôt donne, comme dimensions habituelles des essieux de wagons, les chiffres suivants :

Longueur : 0[m],60 en sus de la section de la voie.

Diamètre maximum (près de la roue). . .	105 à 120 [mm]
id. au milieu	95 à 108 —

Longueur de la partie encastrée dans la roue	165 à 225 mm
Diamètre id. id. id.	102 à 118 —
Longueur de la fusée	132 à 178 —
Diamètre id. id. ordinairement	83 millimèt.

Voici les dimensions au Pennsylvanie-Central :

	VOYAGEURS.	MARCHANDISES.
	—	—
Longueur de l'essieu	2m,10	2m,10
Diamètre contre la roue	111mm	105mm
Id. au milieu	100 »	105 »
Id. de l'encastrement	108 »	102 »
Id. de la fusée	83 »	83 »
Longueur id.	178 »	178 »

D'après la même notice, on a constaté au chemin de fer Michigan-Central que les essieux en fer des wagons de toute espèce, pendant six ans, ont parcouru en moyenne 272,000 kilomètres.

Les compagnies de chemins de fer imposent ordinairement pour la réception des essieux une épreuve au moyen du mouton : au chemin de fer de Pennsylvanie, les essieux sont placés sur des supports espacés de 0m,90 et doivent résister sans se briser à cinq coups de mouton ; celui-ci pèse 290 kos ; il est terminé à sa partie inférieure par une pointe arrondie de 25mm de diamètre. La hauteur de chute est fixée à neuf mètres pour les essieux destinés aux wagons à voyageurs et à six mètres pour les marchandises.

La notice « *Wheel, Axle et Rail* » rapporte des expériences faites sur des essieux au moyen d'un mouton de 760 kos, les supports étant espacés de 0m,90. On a soumis à ces essais, d'une part, des essieux neufs en fer et en acier, d'autre part, des essieux en acier ayant servi pendant un temps plus ou moins long. Après chaque coup,

l'essieu était retourné, de manière à le courber alternativement en sens contraires. Voici les résultats sommaires des expériences :

NATURE de L'ESSIEU.	DIAMÈTRE au MILIEU.	NATURE DU SERVICE.	DURÉE DU SERVICE.	HAUTEUR de CHUTE.	FLÈCHE DE COURBURE PRODUITE PAR LE CHOC.	OBSERVATIONS.
	Millim.		Mois	Mètres.	Millimètres	
Acier.	100	?	»	7,60 à 11,60	48 à 289	Épreuve arrêtée après le 9e coup.
»	105	Marchandises	»	4,60 à 6,10	111 à 187	Brisé au 7e coup.
Fer laminé	114	Voyageurs.	»	6,10 à 9,10	146 à 187	» au 4e coup.
»	102	?	»	3,70 à 4,00	133	» au 2e coup.
Fer forgé	115	?	»	3,70 à 5,50	70 à 83	» au 4e coup.
Acier.	100	Voyageurs.	17	6,10 à 7,60	229	» au 2e coup.
»	111	»	5	7,60	175 à 297	» au 4e coup.
»	?	Marchandises.	31	6,10 à 7,60	232	» au 2e coup.
»	111	?	8	7,60	162	» au 2e coup.
»	100	Wagon à lits.	14	7,60	»	» au 1er coup.

Graissage.

De même que les locomotives, les wagons sont généralement graissés à l'huile de pétrole. Les boîtes à graisse sont disposées à peu près comme dans nos wagons.

M. Dotterer, que j'ai déjà eu occasion de citer, a imaginé un système de boîte qui ne demande pas de graissage, et dans laquelle le frottement de glissement est remplacé par un frottement de roulement, à peu près comme dans l'appareil de physique connu sous le nom de machine d'Atwood. Sur la fusée de l'essieu (fig. 60 et 61, pl. VIII), est suspendu un anneau en fer forgé de $0^m,20$ de diamètre intérieur ; dans cet anneau, sous la fusée, repose un galet

en fonte de $0^{m},13$ de diamètre, qui tourne sur un axe en acier de 19^{mm} de diamètre, engagé par ses deux bouts dans les parois de la boîte; le bout de la fusée s'appuie contre une garniture en laiton. Le tout est enfermé dans une boîte en fonte bouchée par derrière au moyen d'une sorte de coussinet en bois. La boîte est remplie d'eau en été, d'huile en hiver.

M. Dotterer a en outre adapté, tant à ces boîtes qu'aux boîtes à graisse proprement dites, une disposition qui leur permet de suivre tous les mouvements de l'essieu; pour cela elles sont munies sur les côtés de deux petits tourillons, (fig. 60); le couvercle est surmonté d'une convexité concentrique à ces tourillons (fig. 61), sur laquelle porte le poids du wagon. Les tourillons sont engagés dans des lames de fer emboîtées dans les plaques de garde où elles peuvent prendre un jeu vertical. Du reste, le principe de cette disposition est universellement adopté aux États-Unis pour les paliers des arbres de transmission dans les ateliers.

Les boîtes à graisse ordinaires construites par M. Dotterer sont très-faciles à démonter; le couvercle glisse dans des rainures, de sorte qu'il suffit de soulever le wagon de 10 à 15^{mm} et de retirer le couvercle pour que la boîte tombe d'elle-même.

Freins.

Tous les wagons, tant à voyageurs qu'à marchandises, sont pourvus de freins agissant sur les huit roues. Les sabots sont ordinairement en fer; ils sont fixés deux à deux à des traverses en bois suspendues au châssis des trucks, soit à l'extérieur, soit entre les essieux.

On manœuvre les freins depuis la plate-forme des wagons; à l'extrémité de chaque plate-forme, près de l'angle,

se trouve un axe vertical terminé à hauteur d'appui par une roue manivelle; il porte à ras du plancher une roue à rochet, avec un déclic à ressort que l'on maintient du pied lorsqu'on veut lâcher les freins. A son extrémité inférieure, sous le châssis, vient s'attacher un bout de chaîne qui s'enroule sur l'axe pour produire le serrage des freins. Cette chaîne est mise en relation avec les traverses des freins par un système de tringles et de leviers dont la disposition est telle que, à mesure qu'un ou plusieurs sabots viennent en contact avec la roue, les autres sabots prennent appui sur les précédents pour se mettre à leur tour en contact. Tous les freins d'un wagon peuvent ainsi être serrés par la manœuvre de l'une ou de l'autre des deux manivelles placées aux extrémités, et un seul homme peut sans se déplacer faire fonctionner les freins de deux wagons qui se suivent. On voit dans la fig. 64, pl. IX, une des dispositions adoptées; seulement, dans un frein ordinaire, la longue tringle, *I*, serait d'une pièce, au lieu d'être interrompue par un bout de chaîne.

On emploie sur quelques lignes, entr'autres le Pennsylvanie-Central et le Morris-Essex, le frein à vapeur Loughridge, représenté par la fig. 64. Au moyen de cet appareil, le mécanicien peut enrayer à la fois les roues de toutes les voitures du train.

Le cylindre à vapeur, *A*, qui commande les freins, est fixé en-dessous de la plate forme d'arrière de la locomotive. Une chaîne, *B*, attachée par une de ses extrémités au couvercle du cylindre, passe sur une poulie, *C*, portée par la tête de la tige du piston, puis sur une poulie, *D*, fixée au cylindre, et va s'attacher à la chape d'une poulie, *E*, mobile sur une tringle le long du longeron du tender. Sur cette poulie passe une chaîne, *F*, dont un brin commande le frein du tender, et l'autre les freins des wagons; lorsqu'il n'y a pas de wagon attelé, ce brin s'attache à un crochet *G*, fixé à l'arrière du tender.

Les freins de chaque wagon peuvent se manœuvrer à la main, indépendamment de l'appareil à vapeur, au moyen de l'une ou de l'autre des manivelles, *H, H*. Dans ce cas, la tringle, *I*, tirée dans un sens ou dans l'autre par les chaînes, *J*, et les tringles *K*, agit, comme si elle était d'une pièce, sur les leviers, *L*, des freins extérieurs, qui à leur tour réagissent sur les leviers, *M*. Pour serrer les freins au moyen de la vapeur, la tringle, *N*, en tirant la chaîne, *O*, rapproche les deux poulies, *P, P*, dont les axes oscillent autour du centre des poulies, *Q, Q*, portées par un bâti fixe. Les poulies *P, P*, étant respectivement fixées aux deux parties de la tringle, *I*, reliées entre elles par une chaîne, cette tringle se raccourcit et opère le serrage des freins. Un ressort, *R*, ramène ensuite les poulies, *P, P*, dans leur position primitive.

A son tour, la tringle, *S*, commande les freins du second wagon; s'il n'y a qu'un wagon, on accroche cette tringle à un anneau, *T*, fixé à la traverse d'arrière.

Les tringles et les chaînes sont supportées de distance en distance par de petits rouleaux suspendus au châssis du wagon.

L'application de ce système coûte 190 francs par wagon; l'appareil placé sur la locomotive et le tender coûte 950 francs. Quelquefois, on remplace le cylindre à vapeur par une roue de friction que l'on met en contact avec la roue motrice d'arrière pour produire le serrage des freins.

Voie et travaux.

On admet généralement, même aux États-Unis, que la construction des chemins de fer dans ce pays laisse beaucoup à désirer, et que les voyageurs y trouvent moins de sécurité qu'en Europe, à cause de la précipitation et du manque de soins dans l'établissement de la voie. Je pense

que cette critique a pu être adressée avec fondement à nombre de chemins de fer dans les premiers temps de leur existence; les lignes à créer avaient une longueur considérable et exigeaient, même pour une construction sommaire, des capitaux énormes, eu égard surtout à la population du pays; enfin, on était pressé d'entrer en jouissance des chemins de fer, dont l'utilité était parfaitement appréciée.

Depuis, à mesure du développement du trafic, on a travaillé constamment à l'amélioration des voies ferrées; les courbes à petit rayon ont disparu, ou tendent à disparaître ; on a employé des rails plus forts, et d'une meilleure qualité de fer; et aujourd'hui la plupart des grandes lignes n'ont rien à envier sous le rapport de la solidité à nos meilleures lignes d'Europe.

La plupart des chemins de fer sont à simple voie; quelques-uns seulement, traversant les États les plus peuplés, et jouissant d'un grand trafic, ont deux voies sur toute ou presque toute leur étendue.

L'absence d'entente à l'origine entre les diverses compagnies a produit un fait regrettable, auquel il est difficile de remédier; je veux parler de la variation de l'écartement des rails d'une ligne à l'autre. On avait d'abord adopté comme section de la voie un écartement de quatre pieds dix pouces (1m.473), entre les rails; plus tard, on a jugé utile de réduire la section à quatre pieds huit pouces et demi (1m.435); cette section a été définitivement adoptée pour la plupart des chemins de fer dans les États du Nord, mais celle de 1m.473 existe encore sur plusieurs lignes; il y en a même qui présentent des sections intermédiaires, ce qui n'empêche pas les wagons de passer à l'occasion d'une voie sur l'autre.

Quelques compagnies, entre autres celle du New-York-Erié, et de l'Atlantic-Great-Western, qui en forme le prolongement vers Cincinnati, ont adopté et maintenu la

grande section (*broad gauge*), de six pieds anglais, ou 1^m.83. Dans le Sud, l'écartement des rails est de cinq pieds (1^m.524), et de cinq pieds et demi (1^m.68), sur la ligne du Pacifique, d'Omaha à San-Francisco.

Rails.

On emploie partout le rail à patte, du système Vignole, seulement la forme de la tête est variable. Quelques compagnies lui ont conservé l'ancienne forme en champignon, fig. 65, mais en général on l'a modifiée en rendant le bourrelet plus ou moins carré, de manière que l'éclisse, au lieu d'être serrée latéralement contre le corps du rail, agisse dans le sens vertical sur le pied et sur la tête ; le rail Millholland, fabriqué à Mount-Savage, (Maryland), représente ce principe poussé à sa dernière limite (fig. 70).

Les rails ont les dimensions suivantes :

Longueur	7	à	9	mètres.
Hauteur totale	100	à	115	millimètres.
Largeur du pied . . .	95	à	115	—
Id. du bourrelet.	55	à	65	—
Hauteur id.	30	à	35	—
Épaisseur du corps. .	15	à	20	—

Le poids des rails par mètre courant varie de 28 à 37 kilogrammes ; il est généralement d'environ 30 kilogrammes.

On voit dans la pl. IX le profil des rails employés sur différents chemins de fer :

Fig. 65.	Rail du Michigan-Sud	pesant.	30 1/4 k^{os}.
— 66.	— du New-Jersey-Central .	—	27 3/4 —
— 67.	— du Philadelphie-Reading.	—	31 3/4 —
— 68.	— du Pennsylvanie-Central.	—	33 1/4 —
— 69.	— du Baltimore-Ohio . . .	—	37 1/4 —
— 70.	— de Mount-Savage	—	35 3/4 —

Les rails sont fixés aux billes au moyen de crampons en fer, du poids de 200 à 250 grammes, à moitié logés dans une entaille faite à l'emporte-pièce dans le pied du rail. On commence à employer des crampons qui se vissent dans la bille au lieu d'y être enfoncés au marteau.

On s'est quelquefois servi de coussinets en fonte (fig. 77, pl. IX), pour supporter les rails; ils étaient fixés par quatre crampons dont deux traversent à la fois le coussinet et le bord de la patte du rail; ce système est presqu'entièrement abandonné.

Éclisses.

Le système le plus répandu pour réunir les rails entr'eux consiste dans l'emploi de l'éclisse ordinaire *(fish-bar)*, formée de deux lames de fer qui embrassent le rail; elles ont souvent une forme un peu cintrée (fig. 68, pl. IX), et prennent dans l'angle du pied et dans celui du bourrelet; elles sont serrées par quatre boulons dont la tête aplatie se loge dans une rainure ménagée dans une des barres. Au chemin de fer de Pennsylvanie, les barres ont $0^{m}.60$ de longueur et pèsent ensemble un peu plus de 8 1/2 kilogrammes.

Les trous pour le passage des boulons sont faits dans les rails à l'emporte-pièce; depuis quelque temps, cependant, on commence à les forer, parce qu'on a constaté que l'action de l'emporte-pièce, surtout sur les rails d'acier, a pour résultat d'altérer la ténacité du métal.

On fait assez souvent reposer le joint sur un coussinet ou siége *(chair)*, fait d'une plaque de fer carrée, dont la partie centrale, sur un tiers de la largeur, est relevée et rabattue sur le pied du rail, de chaque côté, en forme de crochet (fig. 78, pl. IX). Généralement ces coussinets sont employés concurremment avec l'éclisse; quelquefois on se dispense de celle-ci.

Les fig. 75 et 76, pl. IX, représentent l'éclisse adoptée au chemin de fer Michigan-Sud; elle a l'avantage de ne pas déforcer le rail. Le joint repose sur une plaque de tôle dont le bord est relevé, pour s'emboîter dans le creux du rail; celui-ci est serré entre cette plaque et une pièce de bois au moyen d'un seul boulon qui se loge dans une échancrure demi-circulaire pratiquée dans le corps de chaque bout de rail. Tout l'appareil repose sur un madrier qui couvre deux billes, il est fixé sur chaque bille par un crampon. Ce joint coûte fr. 2,85; le bois entre dans ce prix pour fr. 0,75.

Un système analogue est en usage au chemin de fer Philadelphie-Wilmington-Baltimore; les deux bouts de rail sont serrés par deux boulons entre une lame de fer et une pièce de bois qui emboîte le rail, et est clouée sur trois billes consécutives (fig. 82 et 83, pl. IX).

On a imaginé depuis quelques années un grand nombre d'autres combinaisons tendant en général à faire reposer les joints, sur une certaine longueur, sur des siéges de diverses formes.

On emploie depuis quelque temps, au chemin de fer de Reading, un siége en fer laminé dont les fig. 79 et 80, pl. IX, font voir la forme; il est armé par dessous d'une nervure de $0^{m}.08$ de hauteur, dont les extrémités, sciées obliquement, sont noyées dans les billes. Ces siéges pèsent 15 k^{os}, et coûtent 38 francs les 100 k^{os}. On a adopté récemment, au même chemin de fer, une éclisse assez compliquée (fig. 67, pl. IX), qui embrasse sur $0^{m}.40$ de longueur la moitié du bourrelet et tout le pied du rail; elle se place entre deux billes.

La fig. 71, pl. IX, représente un système d'éclisse appartenant à la société du Phœnix, à Philadelphie. Un siége armé de deux nervures est placé sous le rail, et y est maintenu par deux pièces placées latéralement, à cheval sur le pied du rail et sur le siége, et serrées contre eux au

moyen de deux boulons. Les rails ne sont pas entaillés, sauf aux angles du pied, qui sont légèrement échancrés en quart de cercle, pour emboîter une saillie des pièces latérales, qui empêche le joint de glisser. Ce joint, qui a 0m,35 de longueur se place entre deux billes.

Dans le système Lambourne et Justice, (fig. 72, pl. IX), un siége plat, avec rebords, se pose par ses extrémités sur deux billes; le rail s'emboîte dans le siége, et y est maintenu par deux étriers qui traversent le corps du rail, les bords de son pied et le siége, en-dessous duquel ils sont fixés par des clavettes.

Rails en fer.

Les rails en fer sont les plus généralement employés; ils coûtent de 300 à 310 francs la tonne, pris à l'usine, et reviennent rendus de 320 à 360 francs, suivant les localités.

Les rails hors de service sont renvoyés à l'usine; là on les découpe, on les met en paquets avec du fer en barres, et on en refait des rails. En échange d'une tonne de vieux rails, le laminoir livre une tonne de rails relaminés au prix de 160 francs, comprenant la façon et la fourniture d'un tiers environ de fer neuf.

Au chemin de fer Cleveland-Erié, il y a une forge pour la réparation des rails dont le bourrelet ou le pied sont déchirés en quelques points ; on coupe au burin la partie endommagée, on soude à sa place un morceau de barre de dimensions convenables, et on rétablit au moyen du marteau et de la lime le profil primitif du rail. Les rails réparés de cette façon ne sont plus employés que sur les voies de garage.

Rails aciérés.

Beaucoup de compagnies ont essayé les rails à tête

d'acier ; généralement, ces essais n'ont pas donné de bons résultats, à cause de la difficulté d'obtenir une bonne soudure entre le fer et l'acier ; on m'a montré des échantillons qui avaient servi moins d'un an et dont la tête était complétement détachée. Cependant, on n'a pas renoncé aux rails aciérés, et on a cherché de diverses manières à assurer la soudure des deux métaux :

Le procédé Potter consiste à former la tête du paquet d'une barre d'acier présentant une saillie trapézoïdale (fig. 73, pl. IX) ; sous cette barre se trouve un lit de fer ébauché. Le paquet est placé la tête en bas dans le four à réchauffer, pour que la chaleur arrive à l'acier à travers le fer ; il paraît qu'on obtient ainsi dans chacun des deux métaux, la température convenable pour opérer la soudure. De plus, au laminage, le fer et l'acier s'enchevêtrent à peu près comme le montrent les fig. 65 et 66. On fabrique aussi de la même manière des rails tout en fer qui sont d'un excellent usage.

Au laminoir de Reading, appartenant à la compagnie du Philadelphie-Reading, les paquets pour rails aciérés sont composés de barres placées de champ ; la tête est formée par des lames d'acier de largeur inégale, s'assemblant par endents avec le fer (fig. 74). Je ne sais quel résultat a donné ce procédé, que l'on se disposait à essayer lors de mon passage à Reading.

A l'usine de MM. Cooper et Hewitt, à Trenton (New-Jersey), on emploie le procédé suivant :

Un paquet formé de petites barres d'acier, avec une couverture en fer, est soudé au pilon, puis laminé, après réchauffage, aux dimensions convenables pour former la tête du rail ; celle-ci est ainsi enduite d'une mince couche de fer (deux millimètres environ d'épaisseur), qui se soude au corps du rail. Ce procédé donne, paraît-il, de bons résultats ; j'ai vu un rail dont la tête avait été écrasée à froid sous un marteau-pilon de cinq tonnes ; la couche de

fer était restée parfaitement adhérente à l'acier du bourrelet, la déchirure s'était produite dans le fer.

Rails d'acier.

Plusieurs compagnies ont adopté les rails en acier; au chemin de fer de Pennsylvanie, les premiers essais datent de 1863; jusqu'au 1er janvier 1869, on a acheté 10,400 tonnes de rails d'acier, dont 9,000 tonnes environ ont été mis en place. Les premiers rails étaient en acier de creuset; ils venaient d'Angleterre, et coûtaient près de mille francs la tonne; les rails en Bessemer achetés depuis ont coûté 700 francs, 800 francs et au-delà par 1000 kos. La majeure partie provenait d'usines anglaises; mille tonnes seulement étaient de fabrique américaine. Les rails Bessemer américains valent environ 600 francs la tonne, pris à l'usine.

En général, les compagnies qui ont essayé les rails d'acier sont très-satisfaites de leur emploi, bien qu'on ne possède pas jusqu'à présent les éléments nécessaires pour en évaluer la durée avec quelque précision. La durée moyenne des rails en fer est évaluée à cinq ans; au Baltimore-Ohio, on m'a dit que les rails en fer ne durent qu'un an à un an et demi; et que les rails en acier dureraient quinze à vingt fois davantage. Cette évaluation n'étant pas basée sur l'expérience, peut être exagérée; les résultats suivants ont été constatés au chemin de fer de Reading.

On a placé sur une rampe de 33 millimètres par mètre vingt tonnes de rails d'acier et une égale quantité de rails de fer, dans des conditions de service identiques. Les locomotives employées sur cette section pesaient trente-deux tonnes, poids également réparti sur quatre essieux moteurs. Après une période de trente-un mois, pendant laquelle cette partie de la voie avait subi le passage de

3,500,000 tonnes de marchandises, les rails en acier étaient parfaitement conservés, tandis que les rails en fer avaient dû être remplacés trois fois.

Des expériences comparatives ont été faites, vers la fin de l'année 1868, par la compagnie du Pennsylvanie-Central, sur la résistance au choc des rails en fer et de ceux en acier ; pour cela, les rails, placés sur des supports espacés de 0m60, ont été soumis au choc d'une masse de 750 kos tombant d'une hauteur variable. Les résultats de ces expériences se résument comme suit :

Les rails en fer de fabrique américaine, pesant 33 kos par mètre et ayant 115mm de hauteur ont en général été brisés par deux coups du mouton tombant d'une hauteur de 0m,60 à 0m,90. Quelques échantillons n'ont pu supporter un seul choc de 0m,30 de hauteur ; un rail de l'usine de Johnstown (Pennsylvanie) n'a cédé qu'au huitième coup, alors que la hauteur de chute avait été augmentée progressivement de 0m,60 à 1m,50.

Des rails aciérés, de provenance américaine, de 0m,10 de haut, pesant 28 kos, se sont brisés sous trois à six coups d'une hauteur de 0m,90, et des rails en acier fondu anglais, des mêmes poids et dimensions, sous trois à quatre coups de même hauteur ; ces derniers rails avaient plusieurs années de service.

Enfin, les rails Bessemer, tant anglais qu'américains, ont résisté en moyenne à cinq coups, avec des hauteurs de chûte variables de 1m,50 à 3m,00. Quelques échantillons en acier très-tendre n'ont pu être brisés, alors que la hauteur de chute avait été portée à 4m,60, et le nombre de coups jusqu'à onze. L'épreuve a dû être arrêtée parce que les échantillons étaient trop déformés.

Je ferai remarquer à ce sujet que souvent les fabricants de Bessemer Américains cherchent à obtenir pour la fabrication des rails un métal très-doux, peut-être trop tendre pour l'usage, à cause des épreuves, quelquefois exagérées,

imposées comme condition de réception des rails. Les ingénieurs de chemins de fer ont, en effet, une grande crainte des ruptures de rails en pleine voie, qui ont, paraît-il, souvent causé de graves accidents, et dont la fréquence relative peut s'expliquer par deux causes : d'abord, l'extrême rigueur des hivers, ensuite la mauvaise qualité de certains rails achetés autrefois en Angleterre à des prix beaucoup trop bas.

Billes.

Les billes sont faites de troncs d'arbres plus ou moins équarris ; quelquefois on leur donne à la scie une section rectangulaire ; elles ont alors de 0^m20 à 0^m25 de largeur sur 0^m15 à 0^m20 d'épaisseur ; en général, on se borne à dresser à la hache la face supérieure et la face inférieure ; elles doivent avoir 0^m15 à 0^m20 au minimum de largeur ; certaines compagnies stipulent même qu'un quart au moins des billes aura 0^m25 de face. En aucun cas, les billes ne peuvent être en bois débité ; chaque tronçon ne doit fournir qu'une bille.

On donne aux billes une longueur de 2^m45 à 2^m75 ; elles sont espacées de 0^m61 de centre à centre.

Les billes sont généralement en bois de chêne ; du reste, les essences employées varient suivant les localités ; on se sert aussi de bois de frêne, de châtaigner, d'érable et de divers bois résineux.

Les billes coûtent de fr. 1.15 à 3 francs, en moyenne 2 francs la pièce.

Il n'est pas à ma connaissance qu'on ait jamais fait usage de traverses métalliques, ce qui s'explique de reste par le prix relatif du fer et du bois.

Les traverses en bois durent de cinq à sept ans ; il est rare qu'on leur fasse subir une préparation, parce qu'on

observe qu'en général les billes hors de service sont plutôt usées que pourries. Cependant, depuis quelques années, la compagnie de Reading emploie des traverses préparées par un procédé anglais appelé, du nom de son auteur, Burnettisation. Voici en quoi il consiste :

Les billes, placées sur de petits chariots en fer, sont introduites au nombre de deux cent vingt-cinq à la fois dans une chaudière en tôle que l'on ferme ensuite hermétiquement, et dans laquelle on fait le vide au moyen d'une pompe pneumatique. Au bout d'un quart d'heure, on laisse pénétrer dans la chaudière une solution aqueuse à 2 1/2 % de chlorure de zinc ; lorsque la chaudière est remplie, on continue à y fouler cette solution jusqu'à ce qu'on ait atteint, après une demi-heure, une pression de quinze atmosphères, que l'on maintient pendant deux heures ; on laisse alors écouler le liquide et on retire les billes.

Chaque bille absorbe en moyenne 300 grammes de chlorure de zinc ; celui-ci s'achète en solution à 66 %, à raison de fr. 0.70 le kilogramme. La préparation, main-d'œuvre comprise, revient à fr. 0.42 par bille ; le prix des billes non préparées est de fr. 2.70 la pièce.

Depuis le mois d'avril 1867, jusqu'à la fin de l'année 1868, la compagnie de Reading a préparé dans son atelier de Pottstown, 211,716 billes par le procédé Burnett.

Ballast.

On emploie généralement comme ballast le gravier ou le sable plus ou moins fin ; cela dépend des ressources qui existent dans le voisinage de la ligne. On se sert aussi de pierre concassée, que l'on préfère parce qu'elle donne moins de poussière. Quelquefois on ne ballaste pas du tout ; c'est le cas, par exemple, à l'Illinois-Central ; le pays, le long de la majeure partie de la ligne, ne fournit

ni sable ni gravier, et pour se procurer du ballast, il faudrait l'aller chercher fort loin. Un tiers environ de la ligne, surtout aux abords de Chicago, est ballasté au gravier; sur le reste du parcours, les billes reposent directement sur le sol de la prairie, qui présente, paraît-il, une fermeté et une élasticité suffisantes; on se borne à creuser un fossé de chaque côté de la voie, et à rejeter au milieu la terre qui en provient, de manière à former un dos d'âne qui recouvre de huit à dix centimètres la face supérieure des billes.

Changements de voie.

On n'emploie presque jamais, pour les aiguilles aux changements de voie, les bouts de rails taillés en pointe; les ingénieurs américains prétendent que ces pointes s'usent beaucoup trop vite; voici la disposition qu'ils ont adoptée : les rails des deux voies qui se raccordent sont coupés carrément, à une distance telle de l'intersection qu'il reste entre les bourrelets des rails du même côté un intervalle de 12 à 13 centimètres. La voie unique qui en forme le prolongement est mobile tout entière sur une longueur de 5 à 6 mètres, et vient se placer à volonté devant la voie principale ou devant l'embranchement. Les rails de cette partie sont rendus solidaires par des entretoises en fer; les billes sont ordinairement garnies de plaques de fonte pour faciliter le glissement.

Il est clair qu'avec cette disposition le déraillement est inévitable lorsqu'un train marchant dans une direction donnée trouve l'aiguille mal placée; on a donc dû chercher le moyen, soit d'empêcher le déraillement en cas d'erreur, soit de prévenir les erreurs. Pour cela, le levier qui manœuvre l'aiguille est, ou bien cadenassé, ou simplement ramené par un contre-poids dans la position qui laisse la

voie principale ouverte; alors le déraillement n'est plus possible que pour les trains venant de l'embranchement, ce qui présente moins d'inconvénients.

Au Michigan-Sud, on emploie un système de contre-rails pour ramener immédiatement sur la voie les trains qui auraient déraillé sur une aiguille mal mise. On voit dans la fig. 84, pl. IX, l'aiguille ouverte pour la voie principale; si un train vient de l'embranchement, les roues de droite rencontrent à l'extérieur du rail un plan incliné sur lequel les bourrelets montent jusqu'à ce qu'ils arrivent au niveau du sommet du rail; les roues de gauche s'engagent sur un bout de rail oblique; elles y sont maintenues par un contre-rail, qui les repousse ensuite sur la voie, en même temps qu'il attire les roues de droite, dont les bourrelets passent par dessus le rail.

Au chemin de fer de Reading, on a adopté l'aiguille Wharton (fig. 85). Dans ce système, les rails *a,a'*, *b,b'*, de la maîtresse-voie ne sont pas interrompus; les rails de l'embranchement sont solidaires entre eux, et mobiles, sur une longueur de 6 mètres; le rail intérieur *c,c'* se termine en pointe, et s'emboîte dans le rail *a,a'* de la maîtresse-voie, en même temps que le rail *d,d'*, plus long, et coupé carrément, s'applique à l'extérieur contre le rail *b,b'*. Le rail *d,d'* s'élève, depuis le point *d*, où il est à niveau avec la maîtresse-voie, jusqu'au point *h*, où il se trouve de 9 centimètres plus haut. Le long du rail *c,c'*, se trouve un contre-rail *e*, de 4^{m}25 de long, mobile avec lui, et qui, lorsque l'aiguille est fermée, se trouve bout à bout avec un contre-rail fixe *f*. A l'intérieur du rail *b,b'* se trouve un contre-rail *g*, mobile avec l'aiguille, mais en sens inverse, de sorte que ce contre-rail et le rail *d,d'* s'écartent et se rapprochent en même temps du rail *b,b'*. La figure représente l'aiguille en position pour le passage d'un train de l'embranchement sur la maîtresse-voie et réciproquement.

Dans le premier cas, les roues de gauche descendent

sur la pente du rail *d,d'*, jusqu'à ce que leurs bourrelets roulent sur le rail *b,b'*; les contre-rails *e*, *f*, les y maintiennent, en agissant sur les roues de droite, puis les font tomber à l'intérieur de la voie. Dans le second cas, l'aiguilleur doit maintenir les rails dans leur position en appuyant sur le levier; alors le contre-rail *g*, qui est placé plus haut que la voie, force les bourrelets des roues à monter sur le rail *b,b'*, et la roue prend tout naturellement le rail *d,d'*. Le passage des trains sur la maîtresse-voie ne présente aucune difficulté, même si l'aiguille est fermée, parce que, du moment où elle n'est plus maintenue, elle s'ouvre d'elle-même par l'action des bourrelets des roues, soit sur le rail *e*, soit sur le contre-rail *g*, suivant le sens du mouvement.

Pièces de croisement.

Les pièces de croisement sont souvent faites au moyen de rails rivés sur des tôles. Quelquefois les contre-rails sont mobiles et reliés entre eux par des ressorts, afin que l'un d'eux se serre contre le rail lorsque l'autre en est écarté par le bourrelet de la roue.

On emploie beaucoup aussi des pièces de croisement en fonte. Comme la pointe s'use assez rapidement, on a imaginé un système adopté par le chemin de fer de Pennsylvanie et représenté par la fig. 81, pl. IX. L'extrémité de la pointe est en acier fondu, et s'ajuste dans une mortaise en queue d'hironde, taillée dans la pièce de fonte, où elle est calée par un tasseau en fonte placé derrière. Une lame d'acier, maintenue par des rivets, recouvre la partie en fonte de la pointe, la cale et l'arrière de la pointe d'acier. Les rebords de la pièce, en avant de la pointe, sont également revêtus d'acier.

Au chemin de fer de Reading, on emploie depuis quel-

que temps des pièces de croisement coulées en acier; elles sont symétriques au-dessus et et en-dessous, de manière qu'on pourra les retourner lorsqu'elles seront usées d'un côté. On en attend de très-bons services.

Courbes et rampes.

Un assez grand nombre de lignes, surtout des lignes de deuxième ou troisième ordre, présentent des courbes très-accentuées; parmi les grandes lignes, le Baltimore-Ohio est une de celles dont le tracé est le plus défectueux; c'est, comme je l'ai dit, le premier chemin de fer établi aux États-Unis; comme les travaux d'art auraient causé beaucoup de retards et de dépenses, on s'en est dispensé autant que possible, et on a suivi les vallées à peu près dans toutes leurs sinuosités. Il y a quelques années, il existait encore sur cette ligne des courbes de 60 mètres de rayon. Depuis assez longtemps, on travaille à améliorer cet état de choses, mais la guerre de sécession a beaucoup retardé les améliorations. Par suite de la situation de la ligne, tour-à-tour prise et reprise par les deux belligérants, la compagnie a eu assez à faire à rétablir les ponts et les ouvrages détruits par les armées, pour ne pas songer à grever son budget d'autres dépenses extraordinaires.

Actuellement, à part un point où la voie est en courbe de 90 mètres, le plus petit rayon est de 120 mètres; les ingénieurs de la compagnie se proposent de faire disparaître d'ici à un certain nombre d'années toutes les courbes d'un rayon inférieur à 300 mètres.

En général, au moins dans les pays de montagnes, on admet 200 mètres comme extrême limite du rayon des courbes. Au chemin de fer de Pennsylvanie, la courbe la plus prononcée est celle de Kittaning-Point, dans les Alleghanys. Elle représente un fer à cheval, dont le

sommet est formé par deux courbes ayant l'une 206, l'autre 194 mètres de rayon, et embrassant ensemble un angle de 200 degrés. Les autres courbes dans cette partie ont des rayons de 250 mètres, 350 mètres et au-delà.

Ce que je viens de dire ne s'applique qu'aux grandes lignes à voyageurs; les embranchements pour les transports industriels, où le service des voyageurs n'est qu'accessoire, ont souvent des courbes beaucoup plus accentuées; ainsi l'embranchement de Tyrone à Philipsburg, dépendant du Pennsylvanie-Central, présente une courbe de 110 mètres et une autre de 170 mètres de rayon, embrassant chacune environ 180 degrés.

Les deux lignes que je viens de citer présentent aussi des rampes assez fortes, dans le passage des monts Alleghanys.

Sur le Baltimore-Ohio, les plus fortes rampes sont de 22 ^{mm} par mètre; elles se trouvent sur la ligne principale, entre Baltimore (Maryland), et Wheeling, (Virginie Occidentale). A partir de Piedmont, à 330 kilomètres de Baltimore, la voie s'élève, sur une longueur de 24 kilomètres, avec une rampe de 19 ^{mm} en moyenne, jusqu'à Altamonte, où elle atteint une altitude de 800 mètres au-dessus du niveau moyen de la mer; elle traverse un plateau sur 30 kilomètres de longueur, jusqu'à Cranberry-Summit, avec une pente moyenne de moins d'un millimètre par mètre et une pente maxima de moins de dix millimètres; de là, elle redescend vers Cheat-River, avec une pente moyenne de 20 millimètres, sur une distance de près de 18 kilomètres.

Sur la maîtresse-ligne du Pennsylvanie-Central, de Philadelphie à Pittsburg, les plus fortes rampes sont entre Altoona, siége de l'exploitation de la Compagnie, et le sommet des Alleghanys. Sur deux kilomètres à l'Ouest d'Altoona, la rampe est modérée; elle ne dépasse pas dix millimètres par mètre, et la différence totale de niveau n'est que de

17m50. Au-delà, et jusqu'à la sortie du tunnel des Alleghanys, où elle atteint une altitude de 657 mètres au-dessus de la marée haute à Philadelphie, la voie présente une rampe moyenne de 17 millimètres par mètre sur un développement de 16,700 mètres. La rampe prédominante, dans cette partie, est de 18 millimètres par mètre ; et sur un parcours d'un peu moins de trois kilomètres, elle atteint 19 millimètres. La descente vers Pittsburg, sur le versant occidental des Alleghanys, se fait avec des pentes beaucoup plus modérées.

Les rampes sont plus fortes sur l'embranchement de Tyrone à Philipsburg : Les cinq premiers kilomètres, à partir de Tyrone, rachètent une différence de niveau de 21m50, et les seize suivants, 324 mètres, soit en moyenne 20 millimètres par mètre pour cette dernière partie ; on y trouve une étendue de huit kilomètres dans laquelle la rampe moyenne est de 23 millimètres, la rampe la plus faible de 13 millimètres, et la plus forte de 28 millimètres par mètre.

Sur l'embranchement Mahanoy - Broad - Mountain du chemin de fer de Philadelphie à Reading, il existe une rampe de 33 millimètres par mètre.

Ponts.

Autrefois on faisait tous les ponts en bois, et les ponts existant actuellement sont encore pour la plupart en bois ; ils sont assez généralement tubulaires, et presque toujours couvert d'une toiture ; les côtés sont formés d'arcs en charpente, ou plus souvent d'une série de croisillons.

Depuis un certain nombre d'années, on ne construit plus guère que des ponts métalliques ; même on remplace graduellement les anciens ponts en bois par des ponts en fer. Le plus ordinairement les longerons se composent de poutrelles en fer ou en fonte, reposant sur des montants ver-

ticaux, avec un système de tirants reliant les montants entre eux et avec la poutrelle. Il existe aussi un pont suspendu pour chemin de fer sur la rivière Niagara ; il relie le New-York-Central avec le Great-Western du Canada.

Stations.

Il n'existe ordinairement pas de stations centrales dans les grandes villes où plusieurs lignes de chemins de fer viennent aboutir ; ainsi, à New-York, il existe, pour neuf chemins de fer, sept stations assez éloignées l'une de l'autre, et qui ne sont pas raccordées entre elles ; il est vrai que la situation spéciale de cette ville, bâtie sur une île, rendrait assez difficile l'établissement d'une station centrale unique, mais la même chose se retrouve dans d'autres grandes villes où cette raison n'existe pas ; chaque compagnie aime à être maîtresse chez elle ; cependant, on voit souvent deux compagnies s'associer pour avoir une station unique ; dans ce cas, la construction de la station se fait ordinairement à frais communs ; chaque compagnie se réserve une partie des voies, les salles d'attente et autres locaux destinés aux voyageurs restent indivis.

Lorsque deux lignes qui se font suite aboutissent à des stations différentes dans la même ville, le service de transbordement des voyageurs et des bagages est organisé par les compagnies, de manière à épargner le plus possible aux voyageurs les dérangements et les pertes de temps. En voici deux exemples.

A Buffalo, (État de New-Vork), la communication entre le débarcadère du New-York-Central et l'embarcadère pour Erié, Cleveland et l'Ouest est établie par un omnibus, accompagné de fourgons à bagages. Ce service étant très-bien organisé, la perte de temps qui en résulte est insignifiante.

A Baltimore, la ligne de Philadelphie et New-York et celle de Washington aboutissent en deux points différents de la ville; une voie de section ordinaire relie les deux stations, mais les locomotives n'y circulent pas ; aussitôt l'arrivée d'un train à une station, il est dépecé, et chaque wagon est conduit séparément, par un attelage de six ou sept mules, à l'autre station, où le train est immédiatement reformé.

Pour le transit des marchandises, les lignes se raccordent ordinairement à l'extérieur des villes.

Souvent les embarcadères ne se trouvent pas sur les chemins de fer; ce cas se présente ordinairement lorsqu'il s'agit de traverser un bras de mer, ou une de ces grandes rivières sur lesquelles il n'existe pas encore de ponts. Ainsi, à New-York, les chemins de fer New-Jersey, New-Jersey-Central, Erié, ont leurs *termini* (pour me servir d'une désignation anglaise), à Jersey-City, sur la rive droite du Hudson, mais la distribution des billets et l'enregistrement des bagages peuvent également se faire sur la rive gauche, à New-York, dans des locaux situés au bord de la rivière. Les voyageurs et les bagages sont transportés sur l'autre rive par des bacs à vapeur, (*ferry-boats*), qui partent à heure fixe, soit dix ou quinze minutes avant l'heure fixée pour le départ de chaque train. Des dispositions analogues existent à Philadelphie, pour le passage de la rivière Delaware, à Saint-Louis, pour le passage du Mississippi et ailleurs.

On ne fait en général pas grands frais pour les stations; même dans des villes assez importantes, il y a tout simplement un petit bâtiment, souvent placé entre les deux voies, et qui contient les bureaux et deux salles d'attente.

Cependant, il existe aussi de grandes gares couvertes; je citerai entre autres celle du chemin de fer Cleveland-Erié, à Cleveland, qui a 184 mètres de long sur 55 mètres de large; à Chicago, celle de l'Illinois-Central et du Michigan-

Central, et la gare commune au Michigan-Sud et au Chicago-Rock-Island. Cette dernière a 160 mètres de long sur 100 mètres de large, 14 mètres de hauteur sous clef, et 7 mètres de hauteur sous les tirants de la charpente. L'aménagement comprend trois salles d'attente, une salle à manger, un bureau de bagages, divers locaux à l'usage des employés, etc. Les bureaux des Compagnies se trouvent dans un grand bâtiment formant la tête de la gare.

Surveillance de la voie; barrières et clôtures.

La surveillance de la voie se réduit généralement à peu de chose ; on place des gardes aux points de croisement avec d'autres chemins de fer, aux aiguilles, aux ponts et aux passages à niveau dans les villes. Les signaux fixes ne sont guère employés, excepté aux changements de voie, où il y a un signal pour indiquer dans quel sens l'aiguille est ouverte.

Il est rare qu'il y ait des barrières aux passages à niveau ; elles sont remplacées par un écriteau fixé sur deux poteaux très-élevés, et portant : « attention à la locomotive lorsque la cloche sonne », ou une autre inscription du même genre.

Il est rare aussi que l'on clôture les voies dans la traversée des villes ; j'ai vu dans les plus grandes villes les trains de chemin de fer suivre sur des distances assez longues des rues ou des avenues très-fréquentées, sans que la voie ferrée fut en aucune façon séparée de la voie publique ; dans ces circonstances, le mécanicien est tenu de sonner constamment la cloche. Les gares non plus ne sont presque jamais clôturées, et le public y a librement accès.

Le principe Américain, en cette matière, est de laisser à chacun le soin de sa propre conservation ; il ne paraît pas que cette liberté entraîne des inconvénients sérieux ;

le public, y étant habitué, prend ses précautions en conséquence.

En rase campagne, au contraire, les lignes de chemins de fer sont souvent bordées de clôtures; la principale, sinon la seule raison de cette précaution, se trouve dans certaines lois stipulant que les propriétaires riverains ont droit à être indemnisés par les compagnies de chemins de fer lorsque les trains de celles-ci viennent à écraser des bestiaux leur appartenant, et cela sans qu'il soit besoin d'établir que l'accident provient de la faute ou de la négligence des employés du train; mais l'indemnité n'est pas due dans le cas où la voie est convenablement clôturée.

Administration.

L'administration des chemins de fer est ordinairement divisée en deux grandes branches, à la tête desquelles sont placés un ingénieur en chef (*chief-engineer*) et un directeur général (*general superintendent*). Ces fonctionnaires relèvent directement du conseil d'administration (*Board of directors*); le président du conseil a la direction suprême des affaires de la compagnie, dans laquelle il est assisté par un trésorier, un auditeur et d'autres fonctionnaires du même ordre.

L'ingénieur en chef dirige les travaux de construction et d'entretien de la voie, des ponts, des stations et bâtiments. Quelquefois la construction et l'entretien forment deux services distincts, chacun sous les ordres d'un ingénieur en chef.

La voie comprend un certain nombre de divisions, dirigées par des ingénieurs (*resident engineers*); les subdivisions sont confiées à des inspecteurs (*supervisors*); ceux-ci ont sous leurs ordres des contre-maîtres qui, assistés d'un certain nombre d'ouvriers, sont chargés de l'entretien d'une section de la voie.

Le directeur-général a dans ses attributions tout ce qui concerne l'exploitation de la ligne ; dans certaines compagnies, il a sous ses ordres l'ingénieur en chef chargé de l'entretien de la voie, mais les fonctions de « *superintendent* » ne comprennent, à proprement parler, que la construction et l'entretien du matériel roulant, et le mouvement des trains avec le contrôle des recettes et des dépenses.

Le service de la construction et de l'entretien du matériel est administré par un directeur des ateliers, (*superintendent of motive power and machinery*) ; chaque atelier est dirigé par un chef-mécanicien (*master of mechanics*).

Pour l'exploitation proprement dite, il y a à la tête de chaque division de la ligne un directeur (*division superintendent*), qui a sous ses ordres les chefs de station, les chefs de trains et autres employés.

La surveillance des recettes est confiée à deux agents généraux, l'un pour les voyageurs (*general ticket*, ou *passenger agent*), l'autre pour les marchandises (*general freight agent*) ; ils agissent sous l'autorité du président pour la fixation des tarifs, et reçoivent les ordres du directeur-général pour le mouvement des voyageurs et des marchandises.

Les fonctions de l'agent général pour les voyageurs consistent principalement dans la vente des billets et la comptabilité des recettes ; il a sous ses ordres, dans chaque localité, un agent qui est chargé du détail des opérations, et qui lui en rend régulièrement compte.

L'agent général pour les marchandises s'occupe, par l'intermédiaire d'agents locaux, de la confection des lettres de voiture, de l'expédition et de l'encaissement des factures ; il tient la comptabilité des wagons en service sur d'autres lignes et réciproquement, et a charge en général de tout ce qui est relatif au mouvement des marchandises.

Organisation des trains.

Le nombre des trains de voyageurs en circulation varie beaucoup d'un chemin de fer à l'autre; sur la plupart des grandes lignes, il y en a six à huit dans chaque sens par jour; sur les lignes peu importantes, ou dans les pays où la population n'est pas très-dense, il n'y en a que deux ou trois. C'est sur la ligne de Boston à Worcester que le nombre des trains est le plus grand; il y a chaque jour de Boston vers Worcester cinq trains-express, quatre semi-express et cinq trains de banlieue; et en sens contraire : quatre express, sept semi-express, quatre trains de banlieue; en tout, vingt-neuf trains réguliers de voyageurs dans les deux directions.

Le nombre de wagons par train est en moyenne de cinq ou six, non compris un ou plusieurs fourgons à bagages; c'est encore un chiffre essentiellement variable. Un wagon dans chaque train est ordinairement réservé aux fumeurs; un autre est pour les dames; sur certaines lignes, il y a un wagon-salon; la nuit, il y a ordinairement un ou deux wagons à lits ou davantage. Les wagons à lits sont placés en queue du train, le wagon des fumeurs en tête; on circule librement dans les autres wagons, qui forment le corps du train.

Les trains sont traversés dans toute leur longueur par une corde qui passe à l'intérieur des wagons et se relie à la cloche de la locomotive, de sorte que les employés, ou au besoin les voyageurs, peuvent en cas de danger donner un signal d'arrêt au mécanicien.

Le personnel des trains se compose de : un mécanicien, un chauffeur, un conducteur-chef de train, un certain nombre de gardes-frein et un préposé aux bagages.

Au chemin de fer Illinois-Central, les mécaniciens sont payés à raison de fr. 14.00 à 14.60 par jour, indépen-

damment des primes, pour un parcours journalier de 140 à 200 kilomètres.

Au Pennsylvanie-Central, le salaire du personnel est établi comme suit :

Mécanicien	fr.	400	par mois.
Chauffeur		7.60	par jour.
Conducteur		380	par mois.
Préposé aux bagages. . .		230	id.
Garde-frein		190	id.

Au chemin de fer Boston et Maine, les salaires sont moins élevés.

Mécaniciens, en moyenne. . . .	fr.	11.75	par jour.
Chauffeur id. . . .		8.00	id.
Conducteur	fr.	2.500 à 3.800	par an.

Le conducteur a sous ses ordres tous les employés du train; il a seul qualité pour recevoir les billets, ou de l'argent à défaut de billets. Les billets sont délivrés soit aux stations, soit dans des agences établies dans les villes, aux hôtels, chez les libraires, etc.; généralement, on y applique un timbre indiquant la date du jour où ils sont délivrés; le conducteur les annule en les récolant; souvent il prend le billet au début du voyage, et le remplace par une sorte de contre-marque qu'il délivre en son nom personnel, et qu'il reprend à la dernière station.

Pour les sommes à percevoir des voyageurs qui ne sont pas munis de billets, on s'en rapporte presque toujours à la probité des conducteurs; je n'ai jamais vu employer qu'un moyen de contrôle, qui me paraît assez illusoire; il consiste à faire payer une surtaxe pour tout billet délivré dans le train. Au chemin de fer de Reading, il y a pour ce cas une surtaxe fixe d'environ un franc, que le voyageur peut se faire rembourser en présentant le reçu du conducteur au bureau de la compagnie. Sans parler de ce que

beaucoup de voyageurs ne se donnent probablement pas la peine de réclamer ce remboursement, cette mesure n'empêcherait pas le conducteur de s'entendre avec les voyageurs pour frustrer la compagnie; seulement cela peut engager les voyageurs à se munir de billets avant d'entrer dans les trains.

Il y a ordinairement un garde-frein par deux wagons; toutefois le nombre de ces employés ne dépasse pas quatre par train, quel que soit le nombre de voitures. Outre la manœuvre des freins, ils sont chargés d'entretenir les poëles, lampes et fontaines, de retourner les dossiers des bancs lorsque cela est nécessaire, d'ouvrir et fermer les portes des wagons, d'annoncer les stations, etc.

Il est rare que les employés des trains, de même que les employés de chemins de fer en général, aient un uniforme; seulement, tous ceux qui sont en relation avec le public, sont astreints à porter en service une casquette d'uniforme, ou un signe distinctif quelconque placé en évidence.

Bagages.

Les voyageurs ont droit au transport gratuit d'une certaine quantité de bagages, 45 kilogrammes au minimum, en général 70 kilogrammes. Le préposé aux bagages (*baggage master*), attaché au train, en est responsable. Contrairement à l'usage anglais, les bagages, sur les chemins de fer américains, sont enregistrés avec soin. Aussi les Américains sont très-fiers de leur « *check-system*, » comme ils l'appellent; ce système est, du reste, très-commode et pour les voyageurs et pour les employés, et mérite une mention spéciale.

L'enregistrement se fait au moyen d'une double série de jetons (*checks*) en cuivre mince, dont chaque station de quelque importance est pourvue; ils peuvent avoir trois

centimètres sur cinq de côté; ils portent, estampé en creux, le nom du chemin de fer, l'indication des stations de départ et d'arrivée, et un numéro, commun à deux jetons formant la paire. Un jeton de chaque paire est attaché à une lanière de cuir fendue au bout; l'autre présente une rainure dans laquelle on passe la lanière du jeton correspondant pour les suspendre tous deux à un crochet dans le bureau des bagages. Lorsqu'un voyageur se présente pour faire enregistrer ses bagages, un jeton à courroie est fixé par un nœud coulant à la poignée de chaque malle ou valise; les numéros correspondants sont remis au voyageur.

Un peu avant l'arrivée aux différentes stations, le préposé aux bagages circule dans le train pour recueillir les jetons; il inscrit le numéro de ceux-ci, l'adresse où les bagages doivent être transportés, et le nom de leur propriétaire, sur une carte imprimée qu'il lui remet, et dont il garde un double. De cette manière le voyageur, sans avoir à s'occuper de rien, trouve ses bagages chez lui pour ainsi dire en y arrivant, moyennant payement d'une certaine taxe à l'entrepreneur des messageries. Les voyageurs peuvent aussi, s'ils le préfèrent, conserver leurs *checks* pour aller eux-mêmes réclamer leurs bagages au bureau d'arrivée.

Dans quelques villes, par exemple, à Saint-Louis, les hôtels émettent des *checks* identiques à ceux dont je viens de parler, sauf que le nom de l'hôtel y remplace celui du chemin de fer; le préposé aux bagages est muni d'un certain nombre de ces jetons, qu'il remet aux voyageurs en échange d'un nombre égal de jetons du chemin de fer; il fait ensuite le même échange sur les bagages, qui sont transportés gratuitement par des fourgons appartenant aux hôtels.

Vitesse des trains.

Les trains de voyageurs appartiennent à diverses catégories; on désigne sous le nom de *Way-trains, Accomoda-*

tion-trains, Passenger-trains, les trains omnibus et de banlieue, sous le nom de *Mail-trains,* les trains postaux, qui font ordinairement arrêt à toutes les stations; on appelle *Express-trains* tous les trains plus ou moins directs, et *Fast-express* les trains de grande vitesse.

On croit généralement, mais à tort, que la vitesse des trains sur les chemins de fer des États-Unis est portée à des limites inconnues en Europe. Cette vitesse est au contraire très-modérée, ainsi qu'on peut s'en convaincre par le relevé suivant de la marche des trains sur trois lignes des plus importantes. Dans ce relevé, j'ai choisi parmi les trains express ceux qui font le trajet sur chaque ligne ou portion de ligne dans le temps le plus court; pour les trains ordinaires, j'ai pris à peu près la durée moyenne du trajet.

POINTS DE DÉPART ET D'ARRIVÉE.		LONGUEUR du PARCOURS.	TRAINS EXPRESS.		TRAINS ORDINAIRES.	
			DURÉE du TRAJET.	VITESSE à L'HEURE.	DURÉE du TRAJET.	VITESSE à L'HEURE.
		kilomèt	hes. min	kilomèt.	hes. min.	kilomèt.
Jersey-City	— Philadelphie.	143	3 10	45	3 45	38
Philadelphie	— Baltimore.	158	3 45	42	4 20	36
Baltimore	— Washington.	61	1 15	51	1 45	37
New-York	— Washington.	365	9 10	40	» »	»
New-York	— New-Haven	119	2 45	43	3 10	38
New-Haven	— Springfield.	100	2 »	50	2 40	38
Springfield	— Worcester.	87	1 45	50	2 10	40
Worcester	— Boston.	71	1 25	50	1 35	45
New-York	— Boston.	377	8 20	45	» »	»
Jersey-City	— Easton.	119	2 20	51	3 »	40
Easton	— Harrisburg.	172	3 40	47	4 30	38
Harrisburg	— Pittsburg	397	9 »	44	12 »	33
New-York	— Pittsburg.	688	16 »	43	» »	»
Pittsburg	— Chicago.	753	17 30	43	21 »	36
New-York	— Chicago.	1,441	36 »	40	» »	»

Comme on voit, il y a loin de là aux vitesses de 60 et 65 kilomètres à l'heure de certains trains en Angleterre; ces vitesses sont même à peine égales aux vitesses habituelles des trains en Belgique.

Tarifs de transport.

Le tarif pour le transport des voyageurs varie de 6 à 11 3/4 centimes par kilomètre; il est en général de

7 à 9 1/2 centimes. Dans certains États, il existe des lois qui limitent les prix de transport; dans l'État de Michigan, le maximum est fixé à 7 centimes par kilomètre pour la première classe, 4 3/4 centimes pour la seconde classe et 2 1/2 centimes pour la troisième classe (émigrants).

Les tarifs de voyageurs sont ordinairement différentiels dans une certaine mesure; à l'Illinois-Central, par exemple, le prix par kilomètre, qui est de 11 à 12 centimes pour les petites distances, est réduit à 9 ou 9 3/4 centimes pour le parcours entier. Il en est de même, grâce à la concurrence, pour les longs parcours sur des lignes composées de différents chemins de fer; ainsi, de Cincinnati à New-York, le billet direct coûte dix-huit dollars et demi; la distance par Pittsburg étant de 1,192 kilomètres, ce prix correspond à fr. 0.059 par kilomètre. De Chicago à New-York, le prix, par n'importe quelle voie, est de vingt dollars, soit 5 1/4 centimes par kilomètre.

Pour les marchandises, les péages sont établis d'après une classification qui varie d'une ligne à l'autre; elle est basée sur la nature des objets transportés, sur les inconvénients ou les dangers que présente leur transport, sur les soins qu'ils réclament, sur la quantité expédiée à la fois, sur l'importance plus ou moins grande du trafic auquel ils donnent lieu, etc., etc. Il y a ordinairement quatre classes; certaines denrées payent une fois et demie, deux fois et même quatre fois le prix de première classe; les céréales, le bétail, les combustibles, les matériaux de construction, sont soumis à des tarifs spéciaux, ou rentrent dans la quatrième classe.

Les tarifs pour le transport des marchandises sont largement différentiels; je donne ci-dessous un aperçu des tarifs des quatre classes et des tarifs spéciaux existant sur plusieurs chemins de fer en 1868. En général, les tarifs ne se calculent pas directement sur la distance parcourue; des tableaux publiés par les compagnies fixent le péage

par tonne ou par cent livres, de telle à telle station, pour chaque catégorie de marchandises. Les chiffres ci-dessous sont obtenus en prenant les péages pour les petits parcours, pour les parcours moyens et pour les longs parcours, et en les divisant par la distance effective; ils peuvent donc dans quelques cas ne pas correspondre d'une manière tout-à-fait exacte avec les prix réels.

	PETITS PARCOURS.	MOYENS PARCOURS.	GRANDS PARCOURS.	
Illinois-Central.				
1re classe, par tonne et par kilom.	0,83	0,23	0,14	
2e classe » »	0,69	0,20	0,125	
3e classe » »	0,52	0,16	0,09	
4e classe » »	0,41	0,12	0,07	pour les bois durs, 1/4 en plus.
Bois tendres, par m^3 »	0,15	0,05	0,03	
Houille, pierres, briques par tonne et kil.	0,31	0,065	0,04	
Bétail » »	0,21	0,08	0,055	
Céréales (de ou vers les termini) »	0,265	0,08	0,045	
Pennsylvanie-Central.				La 4e classe comprend les céréales, la houille et autres combustibles, les matériaux de construction, les minérais, les fontes et fers bruts et ouvrés, etc., etc.
1re classe, par tonne et kilomètre	0,26	0,155	0,10	
2e classe » »	0,26	0,125	0,08	
3e classe » »	0,215	0,115	0,065	
4e classe » »	0,215	0,09	0,055	

	PETITS PARCOURS.	MOYENS PARCOURS.	GRANDS PARCOURS.	
Baltimore-Ohio.				
1re classe, par tonne et kilomètre.	0,20	0,185	0,165	
2e classe » »	0,20	0,155	0,13	
3e classe » »	0,20	0,14	0,115	
4e classe » »	0,20	0,11	0,09	
Bois » »	0,21	0,065	0,05	
Bétail » »	0,345	0,09	0,065	
Charbon de Cumberland »	0,08	0,055	0,035	minimum de 2 fr. par tonne.
» autre »	0,073	0,075	0,045	

Je joins à ce travail des tableaux relatifs aux opérations de cinq compagnies de chemins de fer importantes, prises dans diverses parties des États-Unis : dans le premier tableau sont réunis les chiffres de recettes et dépenses de ces compagnies, ainsi que les principaux éléments de leur trafic, pour trois ou quatre années consécutives. Les tableaux suivants renseignent, pour chaque ligne, les dépenses détaillées de la dernière année, le montant des immobilisations, et donnent un état du matériel roulant employé.

Liége, le 22 septembre 1870.

ANNEXE.

Relevé des recettes et des dépenses, du mouvement des voyageurs et des marchandises, etc., de cinq compagnies de chemins de fer.

Par suite du cours forcé du papier-monnaie aux États-Unis, la valeur du dollar est très-variable. J'ai adopté pour la traduction de la monnaie américaine en monnaie belge, tant dans le corps du mémoire que dans les tableaux qui suivent, le chiffre de fr. 3-80, qui représente à peu près la valeur moyenne du dollar pendant la durée de mon séjour aux États-Unis.

	ILLINOIS CENTRAL. ANNÉE FINISSANT LE 31 DÉCEMBRE.		
	1865	1866	[illegible]
Longueur exploitée. kilomètres.	1136	1138	[illegible]
Parcours des locomotives ou trains kilomètres. — De voyageurs. »	1,626,940	1,573,575	[illegible]
— De marchandises. »	3,181,848	3,405,958	[illegible]
— Divers. »	835,777	820,162	[illegible]
— De toute nature. »	5,644,565	5,799,695	[illegible]
Nombre total de voyageurs transportés.	1,214,054	1,031,530	[illegible]
Parcours moyen par voyageur. kilomètres.	117,96	88,38	[illegible]
Marchandises. — Quantités transp., tonnes de 1,000 kos.	938,838	1,046,088	[illegible]
— Tonnes transp à un kilomètre.	199,282,205	197,434 023	[illegible]
Recettes brutes. — Voyageurs. francs.	10,344,597	7,553,281	[illegible]
— Marchandises. »	16,116,454	16,293,809	[illegible]
— Diverses. »	1,142,188	1,215,527	[illegible]
— Totales. »	27,603,239	25,162,617	[illegible]
Dépenses totales. »	17,139,219	14,988,030	[illegible]
Rapport de la dépense à la recette brute.	0,621	0,596	[illegible]
Recette par kilomètre exploité. »	24,299	22,116	[illegible]
Recettes par train kilomètre. — De voyageurs. »	6,36	4,80	
— De marchandises. »	5,07	4,81	
— De toute nature. »	4,89	4,34	
Produit moyen par voyageur. »	8,52	7,30	
» » et par kilomètre »	0,073	0,083	
» par tonne de marchandise. »	17,17	15,67	
» par tonne kilomètre. »	0,081	0,083	

MICHIGAN-SUD. ANNÉE COMMENCÉE LE 28 FÉVRIER.				PENNSYLVANIE-CENTRAL. ANNÉE FINISSANT LE 31 DÉCEMBRE.			
1865	1866	1867	1868	1865	1866	1867	1868
843	843	843	843	952	298	952	952
1,349,845	1,390,269	1,388,950	1,581,227	2,614,488	2,857,267	3,093,445	3,301,680
1,821,023	2,067,066	2,105,230	2,360,312	7,588,307	8,536,619	9,363,004	10,228,494
340,005	382,772	347,860	350,771	428,505	439,725	461,045	459,991
3,510,873	3,840,097	3,842,040	4,292,310	10,628,300	11,833,611	12,917,494	13,990,173
915,475	846,698	852,188	922,551	2,861,836	2,673,568	3,347,486	3,747,478
122,13	109,33	114,48	113,68	115,07	83,72	60,79	57,20
516,470	634,783	667,1[illegible]3	767,967	2,318,281	2,890,346	3,364,637	4,016,534
121,245,554	156,343,709	160,838,872	185,320,773	613,287,980	749,129,184	825,860,407	986,632,318
7,680,738	6,647,480	6,418,607	6,550,654	20,721,542	14,996,574	13,749,927	13,718,563
9,330,530	10,191,220	10,355,949	11,493,527	42,535,548	44,495,316	44,962,739	48,952,228
797,223	919,433	1,264,876	1,047,431	3,087,753	3,526,865	3,379,928	2,816,498
17,808,491	17,758,133	18,039,432	19,091,612	66,344,843	63,018,755	62,092,594	65,487,289
10,448,697	11,642,082	10,892,273	11,316,699	50,426,222	48,605,455	45,905,139	45,071,739
0,587	0,656	0,604	0,593	0,760	0,771	0,739	0,688
21,125	21,065	21,399	22,647	69,690	66,196	65,223	68,789
5,69	4,78	4,62	4,44	7,94	5,25	4,45	4,15
5,12	4,93	4,92	4,87	5,61	5,21	4,80	4,79
5,07	4,62	4,[illegible]9	4,45	6,24	5,33	4,81	4,68
8,39	7,85	7,53	7,10	7,24	5,61	4,11	3,66
0,069	0,072	0,066	0,063	0,063	0,067	0,068	0,064
18,07	16,05	15,52	14,97	18,25	15,40	13,36	12,19
0,077	0,065	0,064	0,062	0,069	0,059	0,054	0,050

			PHILADELPHIE-READING. ANNÉE FINISSANT LE 30 NOVEMBRE.			
			1865	1866	1867	1868
Longueur exploitée.		kilomètres.	620	623	634	[illegible]
Parcours des locomotives.	Voyageurs.	»	»	»	»	»
	Marchandises.	»	»	»	»	»
	Divers.	»	»	»	»	»
	De toute nature	»	5,935,596	6,857,768	7,010,730	7,2[illegible]
Voyageurs.	Nombre.	»	1,481,632	1,444,257	1,273,644	1,194[illegible]
	Parcours moyen.	»	39,73	39,82	40,65	4[illegible]
Marchandises	Quantités	tonnes.	3,908,078	4,715,262	4,578,046	4,739[illegible]
	Tonnes à un kilomètre.		577,204,676	702,521,585	661,786,156	671,387[illegible]
Recettes brutes.	Voyageurs.	francs.	4,050,218	3,899,626	3,821,459	3,7[illegible]
	Marchandises.	»	37,211,762	36,735,495	30,135,630	29,13[illegible]
	Diverses.	»	1,079,591	795,591	647,596	5[illegible]
	Totales.	»	42,341,571	41,430,712	34,604,685	33,4[illegible]
Dépenses totales.		»	29,144,147	30,050,332	25,091,225	24,97[illegible]
Rapport de la dépense à la recette brute.			0,689	0,725	0,725	[illegible]
Recette par kilomètre exploité.		»	68,293	66,502	54,582	[illegible]
Recette par train kilomètre.	De voyageurs.	»	»	»	»	»
	De marchandises.	»	»	»	»	»
	De toute nature.	»	7,13	6,04	4,94	[illegible]
Produit moyen par voyageur.		»	2,73	2,70	3,00	[illegible]
» » et par kilom.		»	0,069	0,068	0,074	[illegible]
» par tonne de marchandise.		»	9,52	7,79	6,58	[illegible]
» par tonne kilomètre.		»	0,065	0,052	0,045	[illegible]

BOSTON ET MAINE. ANNÉE FINISSANT LE 31 MAI.			
1865	1866	1867	1868
238	238	238	238
757,509	772,458	857,097	935,097
391,839	385,675	405,210	463,680
32,844	44,452	43,668	39,392
1,182,192	1,202,585	1,305,975	1,438,169
2,658,385	2,899,432	3,070,724	3,148,988
23,56	22,77	22,56	21,51
249,600	281,573	290,200	312,180
13,207,257	14,145,875	18,097,486	18,811,829
3,133,864	3,584,2[illegible]5	3,711,399	3,447,106
1,497,346	1,972,221	2,211,586	2,292,751
293,472	223,939	235,586	208,900
4,924,682	5,780,405	6,158,571	5,948,757
3,529,443	4,205,360	4,125,578	4,292,793
0,717	0,728	0,670	0,722
20,692	24,287	25,876	24,995
4,14	4,64	4,33	3,69
3,82	5,11	5,46	4,94
4,17	4,81	4,72	4,14
1,18	1,24	1,20	1,09
0,050	0,054	0,054	0,051
6,00	7,00	7,62	7,34
0,113	0,139	0,122	0,122

OBSERVATIONS.

Au chemin de fer de Pennsylvanie, les transports de charbon entrent dans le mouvement général des marchandises pour les quantités suivantes :

En 1865 . . . . 975,000 tonnes.
En 1866 . . . . 1,282,000 »
En 1867 . . . . 1,525,000 »
En 1868 . . . . 1,873,000 »

Au chemin de fer de Reading, les transports de charbon ont été :

En 1865. . . . 3,140,000 tonnes.
En 1866. . . . 3,774,000 »
En 1867. . . . 3,502,000 »
En 1868. . . . 3,632,000 »

Chemin de fer Pennsylvanie-Central.

	DÉPENSES DÉTAILLÉES. 1868.		
Traction.	Mécaniciens et chauffeurs	2,001,485	
	Bois et charbon	2,429,510	
	Huile, graisse, coton	514,317	
	Diverses	1,656,550	6,601,862
Exploitation.	Personnel des trains	3,055,461	
	Ouvriers aux stations	693,949	
	Employés	1,226,084	
	Autres frais	8,739,592	13,715,086
Atelier.	Entretien des locomotives	6,172,577	
	» des wagons	5,482,396	11,654,973
Voies et travaux.	Voie, main-d'œuvre	2,914,892	
	Gardes sur la voie	523,653	
	Rails	3,657,136	
	Billes	1,353,310	
	Ballast et autres matériaux	1,631,690	
	Ponts, bâtiments, machines	1,405,078	
	Diverses	936,048	12,421,807
Frais généraux.	Traitements et salaires	462,345	
	Autres frais	215,666	678,011
	Dépenses totales		45,071,739

DÉPENSES DE 1er ÉTABLISSEMENT.		PAR KILOM exploité.
Construction de la ligne de Harrisburg à Pittsburg, achat de la ligne de Philadelphie à Columbia ; stations, ateliers, etc.	80,962,894	85,044
Materiel roulant	17,012,030	17,870
MATÉRIEL ROULANT 1868.		**Totaux.**
Locomotives : Nombre total	434	434
Wagons à voyageurs, poste, bagages et messagerie	325	325
Wagons fermés à marchandises	2,403	
» à bétail	1,152	
» à plats	2,161	
» à charbons	738	6,457
Pour le service des voies et travaux	677	677
Wagons de toute espèce		7,459

	DÉPENSES DÉTAILLÉES. 1868.		
Traction.	Combustible.	1,846,820	
	Huile, graisse, etc.	521,961	
	Salaire du personnel des trains	3,159,800	
	Manœuvres des wagons aux stations à charbon.	377,667	
	Diverses	161,374	6,067,622
Ateliers.	Salaires	3,216,676	
	Matériaux	1,964,156	5,180,832
Stations.	Salaires des ouvriers	406,426	
	» des gardes	265,852	
	Autres frais	131,123	803,401
Voies et travaux	Entretien de la voie	2,652,335	
	Ponts, bâtiments, quais et machines	1,088,312	
	Salaires des gardes aux ponts, etc.	142,780	
	Diverses	148,674	4,032,101
Frais génér^x d'exploitation	Appointements et salaires	569,662	
	Autres frais	973,457	1,543,119
	Augmentation et entretien du matér^l	3,538,742	3,538,742
	Frais généraux, taxes, etc.	3,809,105	3,809,105
	Dépenses totales		24,974,922

DÉPENSES DE 1er ÉTABLISSEMENT.		PAR KILOM. exploité.
Construction de la ligne	80,358,058	119,402
Matériel roulant	14,903,943	21,263
MATÉRIEL ROULANT. 1868.		**Totaux.**
Locomotives : Nombre total	269	269
Wagons à voyageurs	119	119
» à marchandises	1,373	
» à charbon	9,060	
Service de l'exploitation	180	
» des voies et travaux	333	10,946
Wagons de toute espèce		11,065

Chemin de fer Boston et Maine.

	DÉPENSES DÉTAILLÉES. 1868.		
Exploitation.	Trains de voyageurs	479,056	
	» de marchandises	415,044	
	Combustible : Bois	242,932	
	» Houille	225,578	
	Graissage	60,690	
	Gardes et ouvriers	165,027	
	Diverses	118,758	1,707,085
Ateliers.	Entretien des locomotives	305,818	
	» des wagons	390,226	695,044
Voies et travaux.	Rails	332,248	
	Entretien de la voie	643,044	
	» des ponts	116,429	
	» des clôtures et barrières	25,647	
	Diverses	270,988	1,388,356
	Frais généraux	501,308	501,308
	Dépenses totales		4,292,793

	DÉPENSES DE 1er ÉTABLISSEMENT.		PAR KILOM. exploité.
Construction de la ligne	Terrassements et maçonnerie	3,359,456	
	Ponts en bois	1,411,580	
	Superstructure (rails compris)	3,836,191	
	Stations et bâtiments	2,344,696	
	Terrains et clôtures	3,696,736	
	Études et nivellements	1,040,545	
	Total	15,689,204	65,921
Matériel roulant.	Locomotives	1,019,920	
	Wagons à voyageurs	489,389	
	à marchandises	991,164	
	Total	2,500,473	10,506

MATÉRIEL ROULANT. 1868.		
Locomotives : nombre	43	
Wagons à voyageurs y compris les fourgons à bagages	94	
Wagons à marchandises, ballast, etc.	976	

Chemin de fer Illinois-Central.

	DÉPENSES DÉTAILLÉES. 1867.		
Exploitation.	Personnel des trains.	1,538,239	
	Combustible : Bois	217,573	
	» Houille	816,178	
	Huile, graisse, etc.	317,489	2,889,199
Service des stations.	Aiguilleurs et gardes.	194,214	
	Employés et ouvriers	892,788	
	Autres frais.	1,023,374	2,110,376
Ateliers.	Entretien des locomotives. . . .	1,938,746	
	» des wagons	1,826,394	
	Outillage et autres frais.	546,340	4,311,480
Voie et travaux.	Entretien de la voie.	4,483,980(a)	
	» des clôtures	148,863	
	» des ponts.	329,941	4,962,784
	Personnel de l'administon centrale.	507,858	
	Frais généraux, indemnités, etc. .	1,316,385	1,824,243
	Dépenses totales.		16,098,382

DÉPENSES DE 1er ÉTABLISSEMENT.		PAR KILOM. exploité.
Construction de la ligne.	98,659,585	86,696
Matériel roulant	20,388,711	17,917
MATÉRIEL ROULANT. 1867.		
Locomotives : Nombre total.	168	
Wagons à voyageurs et fourgons . .	133	
» à marchandises.	3,737	

(a) Les rails sont compris dans cette somme pour 1,370,090.

Chemin de fer Michigan Sud.

DÉPENSES DÉTAILLÉES. 1868.	
Mécaniciens et chauffeurs	605,148
Combustible	980,245
Huile, graisse, coton	204,606
Entretien des locomotives	912,084
» des wagons	884,544
» de l'outillage des ateliers	77,099
Personnel des trains	478,931
» des stations	1,108,301
Aiguilleurs, préposés aux signaux, etc.	408,947
Télégraphistes et entretien du télégraphe	173,908
Objets divers d'approvisionnement	76,982
Frais généraux d'exploitation	229,238
Rails neufs et relaminés	1,373,563
Éclisses	127,983
Entretien de la voie	2,018,731
» des ponts, bâtiments et clôtures	732,146
Divers relatifs à voie et travaux	100,842
Frais généraux	823,381
Total	11,316,699

DÉPENSES DE 1er ÉTABLISSEMENT.		PAR KILOM. exploité.
Coût de la ligne	67,792,863	80,419
Matériel roulant	11,622,708	13,787
MATÉRIEL ROULANT. 1868.		
Locomotives : Nombre total	101	
Wagons à voyageurs et fourgons	116	
» à marchandises	1,376	

MINES.

—

RAPPORT

SUR

L'EXPLOITATION DES MINERAIS DE FER

DANS L'EST DE LA FRANCE,

AU POINT DE VUE MÉTALLURGIQUE;

PAR

M. Achille JOTTRAND,

INGÉNIEUR DES MINES.

La métallurgie du fer a pris, depuis quelques années, un grand développement dans l'Est de la France, grâce à la construction de chemins de fer, qui ont amené le combustible minéral qui manquait à cette contrée, et à l'utilisation du minerai d'hydroxyde oolithique en couches pour la fabrication des fers communs, dont l'emploi est devenu considérable dans la construction, où il remplace le bois et la pierre.

La fabrication de la fonte et du fer est très-ancienne dans le département de la Moselle ; on y traitait au charbon de bois le minerai d'alluvion de Saint-Pancré, de la forêt de Butte et d'Aumetz. Les minières pour l'extraction de ces minerais étaient autrefois nombreuses ; elles sont aujourd'hui presque toutes abandonnées, quelques-unes à cause de leur épuisement, beaucoup d'autres à cause des difficultés d'extraction, des frais de lavage et de transport, qui sont devenus trop élevés eu égard à l'abaissement du prix des fontes fortes. Les minières de Saint-Pancré sont

complétement délaissées depuis quatre ans et celles des bois communaux d'Aumetz et de Butte ne sont exploitées que pour fournir les minerais de qualités supérieures nécessaires à la fabrication de la fonte destinée à des usages spéciaux. En 1866, l'extraction était de 32,000 tonneaux; elle est descendue à 26,000 tonneaux l'année suivante, et en 1868 elle est tombée à 20,000 tonneaux.

Le traitement de l'hydroxyde oolithique en couches est devenu presque exclusif dans l'Est de la France, c'est à l'emploi de ce minerai que l'on y doit le grand développement métallurgique survenu en peu d'années, et c'est de ce seul minerai que nous nous occuperons.

Le gisement d'hydroxyde oolithique forme à la partie supérieure du terrain liasique une ou plusieurs couches puissantes, entre le grès superliasique et les marnes micacées qui constituent la dernière assise de ce terrain immédiatement au-dessous du calcaire oolithique.

L'important ouvrage publié en 1868 par M. Jacquot (1) ingénieur en chef des mines, avec la coopération de MM. Terquem et Barré sur la constitution géologique du département de la Moselle, servant de texte explicatif à la carte géologique, contient des détails très-circonstanciés sur la formation, la place et l'étendue de l'oolithe ferrugineuse. Les cartes géologiques des départements de la Moselle et de la Meurthe, publiées récemment, permettent de suivre avec facilité les affleurements des couches d'hydroxyde à la jonction du lias et du calcaire oolithique inférieur.

Ces affleurements occupent les flancs escarpés de la vallée de la Moselle et de nombreuses vallées secondaires qui déchirent le grand plateau occidental du département

(1) Ce même ingénieur a publié en 1849, dans le t. XVI (4e série), des *Annales des mines*, un mémoire sur les mines et minières de fer de la partie occidentale du département de la Moselle.

de la Moselle jusqu'à la frontière du Grand-Duché du Luxembourg entre Ottange et Vezin.

Vers cette limite du plateau, les affleurements se montrent aux 2/3 de l'escarpement et les couches plongent vers le Sud avec une inclinaison assez faible; mais plus au Sud, à partir d'Hayange et dans la vallée de la Moselle, l'inclinaison se porte vers l'Ouest, et comme cette vallée a une direction du Sud au Nord entre Frouard et Ars, les couches affleurent à mi-côte de l'escarpement occidental, elles s'inclinent vers l'Ouest en pénétrant dans les vallées latérales pour passer bientôt sous le fond de ces vallées. C'est ainsi qu'au-delà de Liverdun, après un changement brusque dans la direction de la vallée de la Moselle, les couches pénètrent sous le niveau de l'eau.

Les affleurements se continuent dans les côteaux de la vallée de la Meurthe, à partir de Frouard jusqu'au Sud de Nancy, pour reprendre ensuite la vallée de la Moselle, après l'inflexion que fait cette rivière, et l'abandonner bientôt pour suivre l'escarpement occidental des vallées du Madon et du Brenon jusqu'aux sources de cette dernière rivière.

Ce vaste gisement d'hydroxyde oolithique présente une grande uniformité d'allures. Son inclinaison varie peu et reste dans les limites de 1 1/2° à 2°. Les vallées nombreuses qui le traversent et le fractionnent n'en altèrent pas la direction, et, d'un versant à l'autre, on retrouve le gisement à la même altitude. Il n'en est pas de même de sa composition et de sa puissance, qui subissent des variations nombreuses. Les bancs superposés dont il est formé varient d'un point à l'autre de nature et d'épaisseur; ils sont calcaires, marneux ou siliceux; tantôt plus ou moins riches, tantôt stériles.

Les recherches qui ont été effectuées jusqu'à présent et les exploitations qui en ont été le résultat, se sont portées naturellement sur les lignes de chemin de fer qui devaient

faciliter le transport de la mine. Elles ont eu lieu principalement dans les environs de Longwy au Nord et de Nancy au Sud.

La plus grande puissance du gîte est atteinte aux environs d'Ottange, au Nord-Est, où elle a une trentaine de mètres en y comprenant un banc stérile de calcaire marneux de 15 mètres d'épaisseur qui sépare les couches. Cette puissance diminue progressivement en allant vers l'Ouest du côté de Gorcy et de Vezin, où le gîte devient inexploitable et disparaît même complétement. Elle s'affaiblit aussi vers le Sud jusqu'aux environs d'Ars-sur-Moselle et de Novéant où elle descend au-dessous de 2 mètres. A partir de cette dernière commune la couche est appauvrie; les recherches faites dans la vallée de la Moselle et dans les vallées secondaires n'ont amené aucun résultat favorable jusqu'à Marbache, à 30 kilomètres plus au Sud. A partir de là, le gîte devient plus riche et sa puissance atteint de 8 à 12 mètres. Il s'est formé un nouveau groupe d'exploitation autour de Nancy; de Marbache à Liverdun sur les bords de la Moselle, de Frouard à Laxou, sur les bords de la Meurthe et entre les deux vallées, sous les communes de Vandœuvre, Chavigny jusqu'à Pont-St-Vincent.

Quelques coupes de gisement prises dans des travaux d'exploitation ou des puits de recherches feront mieux saisir les variations qui existent dans sa composition.

1. — *Pont-Saint-Vincent*, au Sud de Nancy.

	m
Marne	1,40
Minerai.	0,85
Marne	0,85
Minerai.	1,80
Marne	0,80
Minerai.	3,20
Puissance totale . . .	8,90 dont $5^m,85$ en minerai.

2. — *Ludres.*

	m	
Marne	1,40	
Calcaire marneux . . .	1,15	
Minerai.	2,04	qualité moyenne.
Marne ferrugineuse . .	1,85	
Minerai.	1,32	qual. moyenne calcaire.
Marne	0,80	
Minerai.	1,90	bonne qualité.
Puissance totale . . .	10,46	dont 5m,26 en minerai.

3. — *Laxou.*

	m	
Minerai calcareux. . .	1,40	
Marne	1,40	
Minerai.	0,70	
Marne	0,80	
Minerai.	1,20	
Marne	1,50	
Minerai.	1,20	
Marne	1,30	
Minerai.	1,60	exploité.
Puissance totale . . .	11,10	dont 6m,10 en minerai.

4. — *Boudonville.* (1re coupe).

	m	
Minerai.	0,90	
Marne	1,90	
Minerai.	1,90	exploité, calcaire.
Marne	0,50	
Minerai.	0,15	
Marne	1,40	
Minerai.	0,80	exploité.
Marne	0,50	
Minerai.	0,40	exploité.
Puissance totale . . .	8,15	dont 4m,15 en minerai.

5. — *Boudonville*. (2[e] coupe).

	m	
Marne	3,45	
Calcaire ferrugineux . .	0,20	
Minerai.	1,50	
Marne	1,30	
Minerai.	1,60	exploité, calcareux.
Marne	0,65	
Minerai.	1,00	
Marne	0,85	
Minerai.	0,15	
Marne	1,00	
Minerai.	0,80	exploité.
Marne	0,50	
Minerai.	1,10	exploité.
Puissance totale . . .	14,10	dont 6m,15 en minerai.

6. — *Maxéville*.

	m	
Minerai.	1,50	exploité, calcareux.
Marne	1,50	
Minerai marneux . . .	1,60	
Marne	1,50	
Minerai marneux . . .	1,00	
Marne	1,00	
Minerai.	0,30	
Marne	1,50	
Minerai.	0,30	exploité.
Minerai.	0,50	exploité.
Marne	0,50	
Minerai.	1,10	
Puissance totale . . .	12,30	dont 6m,30 en minerai.

7. — *Hazotte.*

	m	
Calcaire marneux . . .	0,25	
Minerai marneux . . .	2,50	
Minerai.	1,30	exploité.
Minerai marneux . . .	1,50	
Minerai calcaire . . .	1,55	
Puissance totale . . .	7,10	dont 6m,85 en minerai.

8. — *Bouxière-aux-Dames.*

	m	
Marne	3,00	
Marne ferrugineuse . .	0,20	
Minerai.	0,80	exploité.
Minerai.	1,00	exploité.
Marne	0,40	
Minerai.	0,08	
Marne	3,55	
Minerai de diffntes qualités.	2,15	
Puissance totale . . .	11,18	dont 4m,03 en minerai.

9. — *Champigneules.*

	m	
Marne	2,00	
Minerai.	0,80	
Marne	1,33	
Minerai.	1,70	exploité.
Marne	0,80	
Minerai.	0,40	
Marne	0,30	
Minerai.	1,60	
Marne	0,35	
Minerai.	0,50	
Marne	1,50	
Minerai jaune	1,10	exploité.
Marne	0,15	
Minerai.	0,10	
Puissance totale . . .	12,63	dont 6m,20 en minerai.

10. — *Ars-sur-Moselle.*

Les couches supérieures disparaissent.

	m	
Marne	» »	
Minerai rouge et brun .	2,20	exploité.
Minerai pyriteux . . .	0,15	

11. — *Moyeuvre.*

	m	
Calcaire ferrugineux . .	6,00	
Marne	6,00	
Minerai.	4,00	exploité.
Puissance totale . . .	16,00	

12. — *Mont-Saint-Martin*, près de Longwy.

	m	
Minerai calcaire pauvre .	4,10	
Minerai rouge siliceux .	0,90	
Marne	0,70	
Minerai brun et rouge .	2,20	exploité.
Minerai calcaire . . .	0,30	
Minerai siliceux pauvre .	0,90	
Grès ferrugineux . . .	» »	
Puissance totale . . .	9,10	dont 8^m,40 en minerai.

13. — *Saulnes.*

	m	
Calcaire ferrugineux . .	6,00	
Minerais divers . . .	4,15	
Grès jaune et sable . .	2,50	
Minerai jaune et brun. .	5,50	
Puissance totale . . .	18,15	dont 9^m,65 en minerai.

14. — *Ottange.* (Frontière du Grand-Duché de Luxembourg).

	m	
Minerai rouge.	3,50	
Calcaire marneux. . .	15,00	
Calcaire ferrugineux . .	5,00	
Minerai gris	4,00	exploité.
Puissance totale . . .	27,50	dont 7^m,50 en mineaai.

La nature et la richesse du minerai varient aussi avec la nature du gisement, le minerai est calcaire, marneux ou siliceux selon la couche dans laquelle il est extrait. La richesse des minerais utilisables varie entre 28 et 40 p. °/₀.

Les couches supérieures fournissent généralement du minerai calcaire, tandis que les couches inférieures sont marneuses ou siliceuses; ces dernières sont ordinairement les plus riches. On cherche autant que possible l'exploitation simultanée des deux qualités parce que les minerais calcaires, qui sont moins riches, portent avec eux leur fondant et quelques-uns peuvent même se passer de toute addition. Les minerais marneux enrichissent le lit de fusion. Le rendement moyen est d'environ 33 p. °/₀.

Le gisement d'hydroxyde oolithique rentre par sa nature dans la catégorie des mines concessibles. Il a donné lieu jusqu'ici, tant dans le département de la Moselle que dans celui de la Meurthe, à de nombreuses concessions. Les recherches se poursuivent avec activité et plusieurs chemins de fer en construction ou en projet vont créer des débouchés pour des concessions nouvelles.

Voici, par ordre de date, les concessions qui ont été accordées jusqu'ici :

NUMÉROS.	NOMS DES CONCESSIONS.	DATE DE LA CONCESSION.	SUPERFICIE EN HECTARES.	CONCESSIONNAIRES.
				DÉPARTEMENT DE LA MOSELLE.
1	Coulmy	1844	62	MM. Les héritiers Nicolas et Pierre Gérard. Inactive.
2	Châtelet	1844	581	» Boutmy, père et fils.
3	Ottange	1847	551	» Comte d'Hunolstein.
4	Rosselange	1848	116	» Dupont et Aron Cahen. Inactive.
5	Romain	1848	140	» Labbé. Inactive.
6	La Charbonnière (Ars)	1848	294	» Dupont et Dreyfus.
7	Varraines. . . »	1848	286	Id. Id.
8	Gorgimon. . . »	1848	494	» De Wendel et Cie. Inactive.
9	Vaux	1853	130	» Les héritiers de Mme veuve Payssé. Inactive.
10	Novéant	1854	300	» Puricelli. Id.
11	Varnimont	1857	114	» de Ludres. Id.
12	Arry.	1859	461	» de Fréhaut. Id.
13	Marange	1860	637	» Pougnet Id.
14	Hayange	1863	1,957	» de Wendel et Cie.
15	Moyeuvre	1863	2,302	Id. Id.
16	Senelle	1864	208	» Boutmy, père et fils.
17	Mont-Saint-Martin. .	1864	576	» Labbé et d'Adelswaerd.
18	Mance (Ars). . . .	1865	319	» Karcher et Westermann.
19	Mexy	1866	230	» Giraud et Cie.
20	Saulnes	1867	90	» d'Huart, père et fils.
21	Lexy	1867	469	Société anonyme de la Providence.
22	Pulventeux	1867	216	M. de Lambertye.
23	Moulaine	1868	371	Comptoir d'escompte de Bruxelles. } Travaux de reconnaissance.
24	Mont du Chat . . .	1868	221	M. Mineur et Wilmot. } Travaux de reconnaissance.
25	Rehon	1869	343	Soc. des Hauts-Fourneaux du Nord à Maubeuge. } Travaux de reconnaissance.
			11,471	

NUMÉROS.	NOMS DES CONCESSIONS.	DATE DE LA CONCESSION.	SUPERFICIE EN HECTARES.	CONCESSIONNAIRES.
	DÉPARTEMENT DE MEURTHE.			
1	Champigneules. . .	1848	427	MM. Karcher et Westermann.
2	Chavigny.	1856	372	» Pol Moreau (Nancy).
3	Marbache.	1858	588	» Othenheimer (Id).
4	Frouard	1858	741	» Vivaux.
5	Bouxières-aux-Dames.	1859	322	» Grand-Jean et Cie à Bouxières.
6	La Voiletriche . . .	1859	341	» Salin (Hemming).
7	Liverdun.	1860	421	» Puricelli.
8	Hazotte (Liverdun) .	1860	414	» Vivenot à Nancy.
9	Pompey	1861	127	» de Bussières à Strasbourg.
10	L'avant-garde (Pompey	1863	177	Société de Vezin-Aulnoye.
11	Buthégnémont . . .	1864	301	Société des Hauts-Fourneaux du Nord à Maubeuge.
12	Boudonville	1864	430	Société de Vezin-Aulnoye.
13	Maxéville.	1864	295	Usines de Burbach (Prusse).
14	Croisette (Liverdun) .	1866	372	MM. Barbe et Cie à Liverdun.
15	Houdémont	1867	241	» Leclercq et Cie à Jarville.
16	Vandœuvre	1867	176	» Lasson, Salmon et Cie à Abainville (Meuse).
17	Custines	1867	201	» Haldy-Roechling et Cie à Pont-à-Mousson.
18	Laxou	1867	266	» Dietrich et Cie à Niederbronn.
19	Lay Saint-Christophe.	1868	223	» Cottreau, maître de forges (Meuse).
20	Sainte Généviève . .	1868	195	» Latron Id. Id.
21	La Grande Goutte . .	1869	239	» Bradefer Id. à Bar-le-Duc.
22	Fond de Monvaux . .	1869	286	» Viellard Id. Haut-Rhin.
23	Bois du Four . . .	1869	462	» Jamin et Cie à Eurville, Haute-Marne.
			7,317	
	Ensemble . . .	. .	18,788	

Les 48 concessions accordées jusqu'à ce jour sur le

gisement du minerai d'hydroxyde oolithique occupent une superficie de 18,788 hectares dont 11,471 hectares dans le département de la Moselle et 7,317 hectares dans le département de la Meurthe.

Elles sont disséminées assez irrégulièrement sur les affleurements du gîte partout où les voies de communication permettent d'en écouler les produits.

Les concessions du département de la Meurthe sont pour la plupart, groupées au nord de Nancy, sur les bords de la Meurthe entre cette ville et Frouard et à partir de son confluent avec la Mosselle sur les bords de cette dernière rivière jusqu'à Marbache en aval et Liverdun en amont. Elles sont presque toutes reliées par des plans inclinés ou des chemins de fer industriels de peu d'étendue aux voies ferrées de la compagnie de l'Est de Paris à Strasbourg et de Nancy à Metz, au canal de la Marne au Rhin et prochainement à la Moselle canalisée.

Un nouveau groupe de concessions se forme au sud de Nancy sur les bords de la Moselle, après son inflexion vers Toul, et plus à l'est, sous les communes de Vandœuvre, Houdémont, Chavigny et Ludres; elles seront desservies par le chemin de fer en construction de Nancy à Vézelise. Il ne reste qu'une surface peu étendue à concéder pour rattacher ce groupe au précédent par la concession de Laxou, la plus au Nord du 1er groupe et qui va trouver aussi son débouché par le chemin de fer de Vézelise.

Quelques concessions situées sur la rive droite de la Meurthe vont trouver prochainement un débouché par le chemin de fer en construction de Nancy à Château-Salins.

A partir de la concession de Marbache, sur les bords de la Moselle, la plus au Nord du principal groupe du département de la Meurthe, le gisement devient inexploitable jusqu'à Novéant au sud de Metz, du moins dans les environs des affleurements, et ces affleurements ne paraissent pas moins pauvres aux environs de Metz.

Il existe un groupe au sud, entre le ruisseau de Vaux et la limite du département dont Ars-sur-Moselle forme le centre principal, il est composé de sept concessions dont l'une sur la rive droite de la Moselle. Les concessions de la Charbonnière et des Varraines, appartenant à MM. Dupont et Dreyfus sont les seules exploitées.

Il faut remonter au nord jusqu'aux villages de Bronvaux et Marange pour trouver la concession suivante qui est celle de Marange, encore inexploitée.

Les vastes terrains concédés à MM. de Wendel et Cie, concessions de Hayange et de Moyeuvre, sont plus au Nord encore; ils couvrent entièrement la superficie comprise entre l'Orme, le Conroi, la vallée de Neuf-Chef et la Fensch, sauf l'espace occupé par la petite concession de Rosselange qui est accolée au Sud-Est à celle de Moyeuvre. Ce groupe est desservi par un chemin de fer industriel et le chemin de fer de Thionville à Mézières.

La concession d'Ottange est isolée contre la frontière du Grand-Duché du Luxembourg, elle s'étend sur les deux bords de la vallée du même nom. Elle est desservie par le chemin de fer d'Ottange à Luxembourg.

Toutes les autres concessions sont groupées aux environs de Longwy, dans les vallées de la Chiers, de la Moulaine, du ruisseau de la Côte Rouge et de Coulmy.

L'exploitation du minerai s'effectue par galeries souterraines; ce n'est qu'exceptionnellement, dans le Nord du département de la Moselle, aux environs de Longwy, dans les vallées de la Chiers et du Coulmy, du ruisseau de la Côte Rouge, de la Moulaine, de l'Alzette et d'Ottange où le gîte prend une épaisseur considérable, qu'on exploite ses affleurements à ciel ouvert. On procède par gradins comme dans les carrières de pierres; on avance dans la côte jusqu'à ce que la hauteur des déblais à enlever au-dessus des couches de minerais, devenant trop considérable, exigerait des frais plus élevés que ceux qu'occasionnerait une

exploitation souterraine. On a pu, ainsi, dans la vallée d'Ottange, où le gîte est le plus puissant aux affleurements, prolonger avantageusement l'exploitation à ciel ouvert avec 16 mètres de hauteur de déblais à enlever au-dessus de la couche.

Dans le Grand-Duché de Luxembourg, contre sa frontière avec la France où le gîte vient affleurer, l'exploitation à ciel ouvert est pratiquée sur une vaste échelle.

Dans l'Est de la France, les concessionnaires du minerai oolithique n'ont éprouvé jusqu'ici qu'une faible concurrence par l'exploitation libre à ciel ouvert. Cette dernière n'a produit que 70,000 tonnes en 1868, tandis que l'extraction du minerai concédé a dépassé 1,000,000 de tonneaux.

L'extraction souterraine n'a pas encore été pratiquée jusqu'à présent par des puits; on n'a eu recours à ce moyen que pour des travaux de recherches. On pénètre dans le gisement par une ou plusieurs galeries ouvertes dans les affleurements. Ces derniers apparaissent sur les flancs des nombreuses vallées qui traversent le gisement sur des étendues considérables et l'on peut généralement faire choix des ouvertures de galeries de manière à ce que celles-ci pénètrent dans le gîte avec des pentes favorables pour le transport et l'écoulement des eaux.

Deux systèmes sont employés pour l'exploitation : par tailles menées en avançant dans la couche et par dépilage de massifs en retour. Le premier système est le plus ancien. Le plan n° 1 de la pl. X en montre un spécimen.

On pénètre dans la couche par une ou plusieurs galeries de 2 mètres à 2m50 de largeur ; on choisit leur direction de façon à obtenir la pente la plus favorable pour le transport. On suit généralement l'inclinaison de la couche qui est de 1 ½ à 2 p. 0/0. Lorsqu'elle est plus forte, on mène les voies principales obliquement à cette inclinaison. A des distances de 40 à 60 mètres et même davantage, on perce des galeries transversales de manière à diviser la couche en tranches parallèles; les tranches sont elles-

mêmes divisées en massifs rectangulaires par des galeries menées dans le sens de l'inclinaison ou parallèlement aux galeries principales.

Les galeries transversales ou d'allongement sont souvent menées perpendiculairement à la voie principale. Dans quelques exploitations on les mène obliquement pour leur donner un peu de pente et faciliter ainsi le transport du minerai et l'écoulement des eaux.

Lorsque les galeries préparatoires d'un chantier d'exploitation sont suffisamment développées, on commence l'extraction par tailles tout en continuant les travaux préparatoires pour de nouveaux chantiers. L'enlèvement des grands massifs s'effectue au moyen de tailles de 6 à 10 mètres de largeur et au-delà, selon la solidité du toit, en laissant entre elles des piliers de 2 à 3 mètres de largeur pour soutenir les terrains supérieurs.

On laisse aussi des massifs ou piliers de 3 à 5 mètres le long des galeries d'allongement. Les voies qui mènent aux tailles à travers les piliers sont creusées en même temps que les galeries d'allongement. On n'attaque pas toutes les tailles ensemble, mais successivement de manière à disposer leurs fronts en gradins. On les poursuit jusque près de la voie supérieure d'allongement en laissant un pilier de 3 à 5 mètres de largeur pour préserver cette voie. Lorsque l'inclinaison de la couche est faible entre les voies d'allongement, on attaque les massifs par les deux voies en dirigeant les tailles à la rencontre les unes des autres.

Lorsque la couche contient des lits marneux et stériles, on remblaie ces matières en les disposant en piliers pour le soutènement du toit, on complète ce soutènement avec des étançons en bois de chêne ou de sapin, et à défaut de remblais, on emploie uniquement le bois pour soutenir provisoirement le toit de la couche ; on ne fait pas usage de chapeaux, si ce n'est quelquefois, lorsque la sécurité l'exige, au-dessus de la voie ferrée menée au milieu de la

taille pour l'enlèvement du minerai. On retire la plus grande partie des bois aussitôt après l'abandon des tailles.

Lorsque le terrain qui recouvre la couche est suffisamment solide ou que l'on n'a pas à redouter des dommages à la surface par des affaissements trop considérables du sol, on enlève les piliers laissés entre les tailles en revenant vers la voie d'allongement en même temps qu'on retire les bois de soutènement. Un spécimen de ce genre d'exploitation est représenté par le plan n° 2, pl. X.

Mais on commence à adopter plus généralement, quand on est favorisé par la solidité du terrain, le système d'exploitation par dépilage.

Les voies principales et les voies d'allongement sont disposées comme précédemment. Ces dernières sont menées à des distances de 50 à 75 mètres les unes des autres et les massifs laissés entre elles sont coupés par une série de galeries de manière à former des piliers de 10 à 15^{m} de largeur sur 50 à 75 mètres de longueur. Le dessin n° 3, de la pl. X, montre un spécimen de ce système.

On opère le dépilage en revenant vers les galeries principales quand le travail préparatoire du percement des voies qui dégagent les piliers est suffisamment avancé. On est rarement obligé de boiser les voies, on n'emploie d'étançons que pour soutenir le toit au-dessus des ouvriers pendant le dépilage. On retire les étançons au fur et à mesure de l'avancement du dépilage pour les faire servir plus loin au même usage. On laisse souvent des massifs de 10 à 20 mètres le long des voies d'allongement pour les préserver, massifs que l'on reprend plus tard quand on abandonne définitivement ces voies.

Aux mines d'Hayange et de Moyeuvre, appartenant à MM. de Wendel et Cie, on exploite avec remblais. La couche a une puissance de 3 mètres à 3^{m}50, divisée en plusieurs lits de minerai et de substances calcareuses stériles, dans la proportion de $^{3}/_{5}$ minerai et $^{2}/_{5}$ pierres. Ces der-

nières suffisent pour faire le remblai complet des tailles.

Les voies transversales ou d'allongement sont menées obliquement aux voies principales sous un angle de 45°. Elles sont distantes entre elles de 100 mètres normalement. Les tailles ont 20 mètres de largeur dont la moitié est enlevée en avant et l'autre en dépilage en revenant; elles sont menées parallèlement aux voies principales (plan n° 4). On laisse entre les tailles et la voie d'allongement un massif de 10 mètres que l'on perce de 20 en 20 mètres par des galeries obliques à 45°. A 10 mètres de longueur dans ces voies, on commence l'exploitation des tailles en prenant 10 mètres de front à droite ; on remblaie les pierres derrière en avançant et en laissant à gauche une voie pour le transport, entre le massif de mine et le remblai, dans le prolongement de celle partant de la galerie d'allongement. On laisse une ruellette à droite contre la mine en place pour éviter la chute du remblai quand on enlève le minerai.

Lorsque les tailles sont arrivées à 10 mètres au-dessous de la voie d'allongement supérieure, on commence le dépilage en retour des massifs de 10 mètres de largeur laissés à gauche des voies, en remblayant les pierres derrière comme précédemment. On enlève ainsi toute la mine sans rien laisser. On soutient quelquefois le toit par un boisage provisoire contre le front d'abatage pour préserver les ouvriers, mais on enlève les bois lorsqu'on remblaie les pierres. On n'enlève pas le pilier de la septième taille, c'est-à-dire 10 mètres de largeur du minerai, pour éviter un affaissement dangereux.

Quel que soit le système employé, l'exploitation de l'oolithe n'exige pas de travaux dispendieux. La position du gisement, sa faible inclinaison et les nombreuses vallées qui le traversent, permettent de pénétrer directement dans la couche au moyen de galeries qui servent tout à la fois au transport, à l'écoulement des eaux et de l'aérage. On

n'a pas eu recours jusqu'ici aux machines d'extraction ou d'épuisement et il n'est pas probable que leur usage sera nécessaire avant longtemps.

Le choix de l'emplacement de l'œil d'une galerie principale d'extraction offre quelquefois un peu de difficulté pour concilier à la fois l'avantage de se rapprocher du gîte et la nécessité de relier la mine par des moyens commodes jusqu'au lieu d'expédition ou de consommation. Dans la plupart des concessions, les galeries débouchent dans le flanc des côteaux, d'où le minerai est amené dans la vallée par des plans inclinés automoteurs. L'installation de ceux-ci ainsi que des voies d'accès et des estacades d'emmagasinage et de chargement, est faite avec plus ou moins de frais, quelquefois avec des travaux d'art, selon l'importance de l'extraction. Dans plusieurs usines, on a profité de la hauteur du gisement au-dessus de la vallée pour faire arriver directement la mine au niveau des gueulards des hauts-fourneaux.

Le transport de la mine dans l'intérieur des travaux s'effectue dans des wagonets chargeant 1000 kilog. On emploie toujours les chevaux pour le traînage quand l'extraction est assez importante. Les wagons sont descendus sur freins lorsque la voie présente une pente convenable et régulière. On multiplie les galeries principales lorsqu'on peut le faire sans augmentation de dépense, l'une sert au transport des wagons vides tandis qu'une autre sert à ramener les wagons chargés. Quand on ne dispose que d'une galerie, on y établit une double voie.

Ces galeries principales devant avoir une durée aussi longue que celle de la mine, sont boisées avec soin, souvent les parois sont garnies de murs élevés en pierres sèches recrépies ensuite avec du mortier ; dans les parties où le toit est mauvais et aux raccordements des voies obliques ou d'allongement, on fait un revêtement complet en maçonnerie et quelquefois en moëllons de calcaire ooli-

thique qu'on se procure aisément sur les lieux et dont la taille est très-facile.

Les voies transversales n'ont pas besoin d'un revêtement aussi complet, leur durée est limitée à l'exploitation d'une tranche de la couche, les massifs réservés de chaque côté suffisent souvent pour soutenir le toit sans le secours d'un boisage. Le transport s'y fait par chevaux quand ce mode est employé dans les voies principales.

L'avancement des galeries principales et transversales et le percement des galeries pour la préparation des tailles ou des piliers constituent des travaux préparatoires très-longs et qui absorbent une grande partie du personnel, surtout dans le début de l'exploitation. Ils contribuent cependant directement à l'extraction du minerai car ils sont établis dans la couche, mais ils offrent cette différence avec les travaux en taille ou en dépilage que la mine est moins dégagée, le front d'abatage ne présente qu'une largeur de 2 mètres à 2^{m}50, égale à celle de la voie, et l'ouvrier mineur ne peut y réaliser un effet utile aussi considérable. Il n'abat que 2,500 à 5,000 k^{os} de mine par jour de travail, suivant la dureté de la couche, la facilité de l'enlever sans poudre ou la nécessité d'en faire un plus ou moins grand usage ; tandis qu'en dépilage le même ouvrier peut abattre de 3,500 à 8,000 k^{os} et même 10,000 k^{os} de minerai dans les mêmes conditions de dureté.

Le travail des ouvriers mineurs est presque toujours payé à l'entreprise. Les ouvriers d'une taille ou d'un groupe de tailles sont associés entre eux et leur salaire est fixé par tonne de minerai extrait. Ils ont à leur charge l'huile et la poudre lorsque celle-ci est nécessaire ; ils doivent placer les bois de soutènement et les retirer lorsqu'ils deviennent inutiles, poser le chemin de fer dans la taille ou dans la voie, abattre le minerai, en retirer les matières stériles et les remblayer, charger le minerai en wagons et conduire ceux-ci jusqu'aux voies desservies par chevaux.

Le prix d'abatage doit nécessairement varier beaucoup d'une mine à l'autre en raison de la puissance de la couche, de la solidité du terrain et de la dureté du minerai. Dans les unes, le minerai est assez tendre pour être arraché sans faire usage de la poudre, dans d'autres, son emploi est plus ou moins diminué par l'avantage que retire l'ouvrier des cassures qui se rencontrent dans la couche et quelquefois de lits plus tendres dans lesquels il peut pratiquer une espèce de havage. L'abatage est aussi facilité dans la même mine selon qu'il a lieu en galerie, en taille ou en dépilage. Le prix varie depuis 60 centimes à la tonne jusqu'à fr. 2-50. Le salaire de l'ouvrier mineur est en moyenne de 5 francs par jour.

La consommation de bois n'est pas considérable et varie entre 15 et 50 centimes à la tonne de minerai. Elle est en moyenne de 30 centimes.

L'entretien et le renouvellement de l'outillage s'élève en moyenne à 20 centimes.

Les autres frais sont très-variables et dépendent de l'état de l'exploitation et des moyens de transport et d'emmagasinage à la surface. Ces derniers sont encore souvent imparfaits, mais l'extension rapide que prend l'extraction du minerai oolithique amènera la nécessité de les perfectionner et influera avantageusement sur le prix de revient déjà si favorable. Ce dernier est en moyenne de fr. 3,25 dans le département de la Moselle et de fr. 2,75 dans le groupe de Longwy.

Le prix de vente moyen a été en 1868 de fr. 3,65 la tonne dans le groupe de Nancy et dans celui de Longwy fr. 3 la tonne sur wagon en gare de Longwy et fr. 2,50 pour le minerai à Ottange où l'exploitation a lieu en partie à ciel ouvert.

L'importance de l'extraction souterraine du minerai oolithique est indiquée au tableau ci-contre pour les mines en activité dans les départements de la Meurthe et de la Moselle pendant les années 1867 et 1868.

CONCESSIONS ACTIVES.	EXTRACTION. 1867	EXTRACTION. 1868	Nombre d'ouvriers EN 1868.	EXPLOITANTS.
		DÉPARTEMENT DE LA MOSELLE.		
	Tonneaux.	Tonneaux.		
Hayange et Moyeuvre .	352,271	342,887	850	MM. de Wendel et Cie, Hauts-Four. de Hayange, Moyeuvre et Stiring.
Mont-Saint-Martin . .	82,809	126,364	260	» Labbé et d'Adelsward Hauts-Four. Mont-St-Mart, Prieuré et Gorcy.
Mexy	42,609	92,650	160	» Giraud et Cie, Hauts-Fourneaux de Longwy Bas.
Les Varraines et la Charbonnière . . .	87,000	92,000	96	» Dupont et Dreyfus, Hauts-Four- de St-Paul et St-Benoit à Ars.
Lexy	27,676	51,354	71	Société de la Providence, Hauts-Fourneaux de Rehon.
Ottange	37.681	55,333	90	MM. Jahiet et consorts. Hauts-Fourneaux d Ottange.
Mance	23,688	16,752	40	» Karscher et Westermann, maîtres de forges à Ars-sur-Moselle
Senelle	9,030	4,392	7	» Boutmy père et fils, maîtres de forges (Meuse).
	662,773	781,332	1,574	
		DÉPARTEMENT DE LA MEURTHE.		
Champigneules. . .	27,067	20,625	56	MM. Karscher et Westerman, Hauts-Fourneaux de Champigneules.
Marbache	41,639	45,938	115	» Haldy et Cie. Hauts-Fourneaux de Pont-à-Mousson.
Frouard	36,903	8,748	33	Société de Montataire, Hauts-Fourneaux de Frouard.
Bouxières aux-Dames.	6,867	8,606	18	Id. Id.
Pompey	408	200	3	Id. Id.
L'Avant-Garde . . .	26,047	42,616	77	Société de Vezin-Aulnoye, Hauts-Fourneaux de Novéant.
Boudonville	11,245	26,844	59	Société de Vezin-Aulnoye, Hauts-Fourneaux de Nancy.
Maxéville	11,564	17,937	135	Usines de Burbach, en Prusse.
Houdémont	15,714	9,761	20	MM. Leclercq et Cie, Hauts-Fourneaux de Jarville, près Nancy.
Croisette-Liverdun. .	25,904	29,275	95	» Barbe et Cie, Hauts-Fourneaux de Liverdun.
Buthegnemont . . .	16,551	2,200	5	» Hamoir et Cie, Hauts-Fourneaux du Nord (Départemt du Nord).
Laxon	500	8,285	44	» Dietrich et Cie, maîtres de forges à Niederbronn (Bas-Rhin).
Chavigny	16,699	10,312	8	» Lasson, Salmon et Cie, maîtres de forges à Abainville (Meuse).
Hazotte.	13,151	10,725	38	» Vivenot à Nancy.
	250,259	240,072	666	
TOTAL. . . .	913,032	1.021.404	2,240	

L'extraction s'est élevée à 781,332 tonnes en 1868 dans le département de la Moselle ; elle est supérieure de 118,559 tonnes à celle de l'année précédente ; elle a occupé 1,574 ouvriers. Elle a été en 1868, dans le département de la Meurthe de 240,072 tonnes, inférieure de 10,187 tonnes à celle de l'année précédente, à cause de l'inactivité des hauts-fournaux de Frouard, remis en marche aujourd'hui, et de la mise hors feu des hauts-fournaux de Jarville pour des causes étrangères à la situation industrielle de cette usine. Elle a occupé 666 ouvriers.

L'ensemble de l'extraction dans les deux départements s'est élevé à 1,021,404 tonnes en 1868 et a occupé 2,240 ouvriers sans comprendre dans le tableau précédent les ouvriers occupés aux travaux préparatoires des concessions nouvelles.

A cette quantité, il faut ajouter 70,000 tonnes de minerai oolithique exploité à ciel ouvert et 20,000 tonnes de minerai d'alluvion provenant des minières d'Aumetz et de Butte, ce qui porte à plus de 1,100,000 tonnes l'importance de l'exploitation minière dans les départements de l'Est de la France.

La plus grande partie de cette production est consommée dans le pays et sert à l'alimentation des hauts-fournaux qui y sont établis et dont le nombre a considérablement augmenté depuis peu d'années. L'autre partie trouve son écoulement dans les départements de la Haute-Marne, de la Meuse et du Nord ; l'usine de Burbach, en Prusse s'alimente dans la Meurthe, elle y possède la concession de Maxéville qui lui a fourni en 1868, une quantité de 18,000 tonnes de minerai et elle en développe encore considérablement les travaux.

La Belgique s'est peu approvisionnée jusqu'ici de minerai à Longwy qui touche cependant à sa frontière. Elle a trouvé des ressources plus avantageuses dans le Grand-Duché de Luxembourg où l'on exploite à ciel ouvert sur

une grande échelle, les affleurements de l'hydroxyde oolithique sous le nom de minette. Mais nos usines retireront plus tard de l'Est de la France une grande partie de leurs besoins quand les affleurements Luxembourgeois marcheront à leur épuisement.

La grande abondance d'un minerai à bas prix a favorisé l'Est de la France de l'un des principaux éléments de la fabrication de la fonte, mais elle ne les possède pas tous. Le combustible fait complétement défaut, car on ne peut pas tenir compte du petit bassin de Forbach qui n'a pas d'ailleurs produit jusqu'à présent le combustible convenable pour la fabrication du coke. L'industrie métallurgique de cette contrée est tributaire de la Belgique, de la Prusse et du Nord de la France pour le combustible minéral qui lui est nécessaire. Grâce aux moyens de communication établis par voies canalisées et ferrées, elle peut s'en procurer à des conditions qui ne sont pas nuisibles à sa prospérité.

On compte aujourd'hui un grand nombre de hauts-fourneaux, les uns transformés, les autres nouvellement établis. Dans le département de la Moselle les usines suivantes sont en activité : Mont-St-Martin, le Prieuré, Longwy-Bas, Rehon, Senelle, Villerupt et Sainte-Claire, Audun-le-Tiche, Gorcy, Ottange, Cons-Lagranville, Hayange, Moyeuvre et Stiring, St-Paul et St-Benoît, Ars-sur-Moselle, Noveant et Mouterhausen.

Dans le département de la Meurthe : Pont-à-Mousson, Frouard, Liverdun, Champigneules, Maxéville, Jarville, Chavigny et Hemming. Comprenant ensemble 49 hauts-fourneaux actifs et 21 hauts-fourneaux inactifs ou en construction.

La production de la fonte a atteint en 1868 au-delà de 360,000 tonnes, quantité supérieure à la production de la fonte dans le Hainaut et inférieure seulement de 65,000 tonnes à la production de toute la Belgique. Dans cette production, les usines de Moyeuvre, Hayange et

Stiring appartenant à MM. de Wendel et Cie, y entrent pour 130,000 tonnes.

Sauf quelques anciennes usines qui n'ont pas encore été complétement transformées, la plupart sont établies dans les meilleures conditions de marche. Les hauts-fourneaux récemment construits sont à grandes dimensions pour produire journellement 40 tonnes et l'on augmente encore ces dimensions dans les hauts-fourneaux en construction pour produire davantage. Presque toutes les usines sont placées à proximité de la mine, quelquefois les galeries débouchent dans la cour même ou bien dans le flanc de la montagne qui domine le haut-fourneau, d'où le minerai est amené directement au niveau du gueulard, comme aux usines de Mont-St-Martin et de MM. Dupont et Dreyfus, à Ars-sur-Moselle.

La castine est abondante; les carrières d'où on la tire sont ouvertes dans les crêtes des côtes qui avoisinent les usines, souvent au-dessus de la mine. On se sert aussi très-avantageusement du calcaire ferrugineux. Le prix de la castine est peu élevé et son emploi n'est pas très-considérable, parce que le minerai est lui-même souvent calcareux. Quelques qualités n'ont pas même besoin de fondant pour leur réduction.

A côté de ces avantages de situation, par rapport au minerai et au bas prix de celui-ci, il faut tenir compte du prix élevé du coke. Le lieu de provenance varie avec la position des groupes, celui de Nancy s'alimente de préférence dans le Nord de la France et dans le bassin de Mons, celui des environs de Metz et de Thionville, moitié en Prusse et moitié en Belgique, le coke de Saarbruck employé seul est trop friable pour supporter la charge des grands fourneaux. Le groupe de Longwy consomme exclusivement le coke de provenance belge, des bassins de Charleroi, du Centre ou de Liége.

Il n'entre pas dans le cadre de cette étude de recher-

cher les avantages de la position de chacun de ces groupes au point de vue de la provenance du coke, le seul élément qui fait varier entre eux le prix de revient de la fonte. Ces différences sont d'ailleurs trop peu sensibles eu égard à l'influence du minerai dans le prix de revient, pour entrer en ligne de compte dans la comparaison à établir avec l'industrie similaire de notre pays. Le groupe de Longwy est celui qui offre le plus d'intérêt pour cette comparaison, parce que, plus rapproché de la Belgique, il en retire exclusivement tout le coke qu'il consomme et que, d'un autre côté, nous y puisons une partie du minerai qui nous fait défaut.

A Longwy, comme dans les autres groupes de l'est de la France, les conditions de main-d'œuvre et de roulement sont analogues à celles de la Belgique. En supposant du coke de provenance de Charleroi au prix de 18 francs les 1,000 kilos, sur wagon, il reviendrait à Longwy.

1,000 kil. coke à fr. 18.	fr.	18 00
Transport de Charleroi à Longwy		7 35
Emmagasinage et déchet		» 50
Droits de douane.		1 20
Total.	fr.	27 05

Le prix de revient par tonne de fonte s'établirait comme suit :

3,000 kil. minerai à fr. 3 les 1,000. . . .	fr.	9 00
1,100 kil. coke à 27.05		29 76
Main-d'œuvre		4 50
Objets de consommation		2 00
Entretien et frais généraux		5 00
Total.	fr.	50 26

soit fr. 50.26 la tonne.

En supposant d'un autre côté que les usines du groupe de Charleroi se trouvent réduites à faire exclusivement

usage des minerais d'hydroxyde oolithique ou minettes, le prix de la tonne de ce minerai de provenance de Longwy, reviendrait à Charleroi :

1,000 kil. minette à fr. 3, sur wagon . . .	fr.	3 00
Transport de Longwy à Charleroi.		7 53
Total.	fr.	10 35

Dans ces conditions le prix de revient de la tonne de fonte à Charleroi monterait à :

3,000 kil. minerai de Longwy à fr. 10.35 .	fr.	31 05
1,100 kil. coke à fr. 18.		19 80
Main-d'œuvre		4 50
Objets de consommation		2 00
Entretien et frais généraux		5 00
Total.		62 35

Soit fr. 62.35 la tonne, c'est-à-dire à un prix supérieur de fr. 12.06 à celui de la tonne de fonte fabriquée à Longwy avec les mêmes éléments.

Si l'on ajoute au prix de la fonte à Longwy, fr. 50.26, les droits de douane pour son introduction en Belgique, fr. 5,00, et les frais de transport à Charleroi, fr. 7.35, cette fonte pourrait y être livrée au prix de fr. 62.61. L'écart n'est que de 26 centimes avec le prix de la fonte fabriquée à Charleroi et cet avantage n'est obtenu qu'à la faveur d'une protection douanière.

La situation de l'industrie sidérurgique en Belgique est loin d'être aussi désespérée que semble l'indiquer la comparaison établie ci-dessus. Notre pays possède encore de nombreuses richesses minérales qui permettent d'obtenir un lit de fusion au-dessous du prix de fr. 10.35, auquel revient la minette pour un rendement en fonte de 33 p. %, et la qualité supérieure de la plus grande partie de nos minerais offre l'avantage de pouvoir produire toutes les qualités de fonte indispensables pour satisfaire aux exi-

geances variées du commerce. Mais ces ressources deviennent insuffisantes pour fournir aux besoins toujours croissants de la métallurgie; nos minerais s'épuisent rapidement et on retire déjà de l'étranger le quart de la consommation. Cette situation ne fera que s'aggraver et il est temps de faire droit aux justes réclamations des maîtres de forges au sujet de l'insuffisance des voies de chemins de fer qui relient notre pays au grand-duché de Luxembourg et à l'Est de la France. Il ne faut pas perdre de vue que le transport joue le plus grand rôle dans la situation respective de la fabrication de la fonte dans le bassin de Charleroi et le groupe de Longwy. Dans ce dernier, une tonne de fonte n'exige que le transport de 1,100 kil. de coke, tandis que dans le bassin de Charleroi cette tonne de fonte exige le transport de trois tonnes de minerai. Il en résulte qu'une amélioration d'un franc dans le prix du transport se traduit par une diminution de 3 francs dans le prix de revient du pays de Charleroi contre une diminution de fr. 1.10 seulement dans le groupe de Longwy.

Les puissants affleurements des couches d'hydroxyde oolithique du Grand-Duché de Luxembourg créeront pendant longtemps encore des ressources considérables à notre métallurgie. Le minerai peut y être exploité à ciel ouvert sur une vaste échelle à un prix au-dessous de fr. 2.50 la tonne et inférieur à celui de l'Est de la France. Un chemin de fer d'Esch à Athus, longeant tous ces affleurements et prolongé vers Charleroi, assurerait à ce bassin des moyens d'approvisionnements réguliers et économiques.

Si l'on considère, d'un autre côté, la situation créée à la fabrication du fer proprement dite, par l'existence des gîtes considérables de minerai dans l'Est de la France, il est facile de se convaincre qu'elle est extrêmement rassurante pour l'avenir de notre pays.

En effet, en supposant comme précédemment le bassin

de Charleroi réduit à s'approvisionner exclusivement de minerai à Longwy, le prix de la tonne de fonte atteindrait fr. 62.35, et comme il faut, en moyenne, 1,350 kilog. de fonte pour produire une tonne de fer et consommer 2,000 kilog. de charbon, ces éléments interviendraient dans les prix de revient de fer de la manière suivante :

1,350 kil. fonte à 62.36.	fr.	84 17
2,000 kil. charbon à fr. 12		24 00
Total	fr.	108 17

Tandis qu'à Longwy, ces mêmes éléments interviendraient comme suit :

1,350 kil. fonte à fr. 50.26	fr.	67 85
2,000 kil. charbon à fr. 12.		24 00
Transport du charbon de Charleroi à Longwy fr. 7.35		14 70
Droit de douane du charbon à fr. 1.20 . .		2 40
Total	fr.	108 95

Soit une différence de 78 centimes en faveur du pays de Charleroi dans le prix de revient d'une tonne de fer, en admettant toutes choses égales dans les moyens de fabrication et le prix de la main-d'œuvre, tandis qu'il existe dans le prix de la tonne de fonte une différence de fr. 12.06 en faveur de Longwy.

Ce résultat s'explique aisément en considérant que, si d'un côté, il est plus avantageux de transporter le coke sur les lieux de l'extraction du minerai, parce que le premier n'entre que pour un quart environ dans le poids total des matières, d'un autre côté, il est plus avantageux de transporter la fonte sur le lieu de l'extraction du charbon pour la transformer en fer, parce qu'elle exige $1 \frac{54}{100}$ de son poids de charbon pour ce travail.

Il n'est pas sans intérêt d'examiner quelle situation serait créée à notre pays si la France abolissait les droits d'en-

trée sur les matières premières employées à son industrie métallurgique.

Le prix de la tonne de coke reviendrait, dans ce cas, à Longwy à :

1,000 kil. coke à fr. 18.	fr.	18 00
Transport de Charleroi à Longwy		7 35
Emmagasinage et déchets		» 50
Total	fr.	25 85

Et le prix d'une tonne de fonte à :

3,000 kil. minerai à fr. 3	fr.	9 00
1,100 kil. coke, 25.85		28 44
Main-d'œuvre		4 50
Objets de consommation.		2 00
Entretien et frais généraux		5 00
Total	fr.	48 94

Il sera dès lors, plus avantageux à nos industriels de transporter le coke à Longwy au lieu d'en ramener le minerai et d'y fabriquer la fonte; à la condition toutefois, que cette dernière, considérée comme matière première, ne subira à sa rentrée en Belgique aucun droit de douane. La tonne de fonte reviendrait à Charleroi à fr. 48.94 augmentée de fr. 7.35 de transport, soit à fr. 56.29.

Les éléments variables de la fabrication du fer se modifieraient ainsi à Charleroi :

1,350 kil. fonte à fr. 56.29	fr.	75 99
2,000 kil. charbon à fr. 12		24 00
Total	fr.	99 99

Tandis qu'à Longwy, les mêmes éléments donneraient :

1,350 kil. fonte à fr. 48.94	fr.	66 07
2,000 kil. charbon à fr. 12		24 00
Transport de 2,000 kil. charbon de Charleroi à Longwy		14 70
Total	fr.	104 77

Soit une différence en faveur de Charleroi, de fr. 4.78 à la tonne de fer.

Dans ces conditions, tout-à-fait éventuelles d'ailleurs et basées sur l'épuisement complet de nos minières, l'intérêt général de notre pays serait-il lésé par le transport de la fabrication de la fonte au-delà de ses frontières? Évidemment non, car nos charbonnages continueront à fournir le combustible nécessaire à la fabrication de cette fonte, et il ne peut être tenu compte de notre industrie minière puisque ses ressources seront épuisées. Il ne reste donc que la question de main-d'œuvre qui sera perdue pour nos classes ouvrières, mais cette considération a peu d'importance parce que la fabrication de la fonte, séparée de tous ses produits accessoires, n'exige qu'un personnel très-restreint.

C'est dans la fabrication du fer que la classe ouvrière trouve la plus grande source de travail et cette fabrication n'a rien à redouter de la concurrence de l'Est de la France sur les marchés étrangers; elle ne peut que profiter de ses abondantes richesses minérales.

Quoi qu'on fasse, l'Est de la France ne sera jamais un centre industriel complet parce que le combustible lui fait défaut; il est éloigné des principaux centres de consommation et il ne possède pas comme la Belgique des moyens de communication nombreux et faciles qui permettent à toutes les industries qui consomment le fer de se grouper autour des centres de production. Nous avons sur lui l'avantage incontestable d'un port d'embarquement à Anvers pour l'exportation des fers et des objets manufacturés qui en dérivent, relié par des voies nombreuses et économiques à toutes les usines du pays.

Fontaine-l'Evêque, le 30 novembre 1870.

MÉLANGES.

VII. — Statistique des télégraphes belges en 1870.

En publiant, dans le tome XXVIII des *Annales des travaux publics,* nos observations annuelles sur le trafic des lignes télégraphiques de la Belgique en 1869, nous avons eu l'occasion de reproduire un document parlementaire qui avait analysé, au point de vue de la tarification, les résultats successifs obtenus, dans le service, depuis l'époque de sa première organisation.

L'exercice 1870 n'apporte, à cette étude, aucun élément nouveau. Il n'y a pas eu de changement de tarif et les événements politiques, en surexcitant certaines correspondances, en supprimant d'autres relations, en jetant la perturbation dans les transactions commerciales, ont effacé momentanément la trace des transformations graduelles, dans lesquelles on pouvait discerner l'influence des réductions de taxe, à côté du développement normal des habitudes et des besoins.

Nous nous bornerons donc, cette année, à citer les chiffres qui se rapportent au trafic de 1870, afin de ne pas interrompre la série des renseignements.

CORRESPONDANCES A L'INTÉRIEUR DE LA BELGIQUE.

	NOMBRE DE TÉLÉGRAMMES.	RECETTES.
	—	Fr.
En 1869	1,108,737	598,740
En 1870	1,343,118	744,641
En plus	234,381	145,901
Soit	21 p. %	24 p. %

Nous avons compris sous la dénomination de télégrammes *complexes,* toutes les correspondances qui comportent une ou plusieurs opérations accessoires donnant lieu à surtaxe. Voici le relevé de ces télégrammes en 1869 et 1870 :

TÉLÉGRAMMES COMPLEXES :		NOMBRE DE TÉLÉGRAMMES. 1869	1870	DIFFÉRENCES en plus.	en moins.
—		—	—	—	—
Enregistrés.	par des particuliers	424	207	»	217
	dépêches d'État en debet. . .	4,506	10,725	6,219	»
Multiples.	réexpéditions .	55	11	»	44
	copies.	62	625	563	»
Dépêches-mandats (Envois d'argent)		6,135	8,193	2,058	»
Avec réponses payées .		22,948	36,793	13,845	»
Exprès affranchi par l'expéditeur.		3,541	4,267	726	»
Exprès payé par le destinataire.		12,810	13,867	1,057	»
Accusé de réception . .		63	5	58	»
Recommandation.	texte clair . .	893	854	»	39
	chiffre secret.	1	3	2	»
	langage secret	7	6	»	1
Urgence.	de jour. . . .	9,954	15,703	5,749	»
	de nuit. . . .	2,037	2,457	420	»

Il est intéressant de constater une fois de plus, dans quelle faible proportion le public se sert des garanties supplémentaires qui lui sont offertes, moyennant une légère surtaxe (*un demi-franc* en Belgique).

On se plaint, parfois avec une certaine exagération, des omissions, des erreurs ou des retards de la voie télégraphique ; l'obligation de faire connaître aux agents de l'administration l'objet des correspondances est signalé comme un grave inconvénient.

Moyennant un supplément de 50 centimes on peut obtenir :

L'accusé de réception indiquant à l'expéditeur que le télégramme a été remis à son correspondant, ainsi que l'heure de cette remise. Il y en a eu 5 en 1870, sur 1,343,000 télégrammes.

La recommandation qui comporte la répétition intégrale de la dépêche, à chaque transmission ou réexpédition, plus un avis de service fournissant les mêmes renseignements que l'accusé de réception. Il y en a eu 854, soit 6 sur 10,000.

L'urgence, c'est-à-dire la priorité, dans l'ordre de transmission, sur tous les autres télégrammes privés. Le public belge a émis, en 1870, 15,703 télégrammes urgents soit 117 sur 10,000 ou un peu plus de 1 °/₀. Nous ne comptons pas, dans cette proportion, les télégrammes émis la nuit, pour lesquels la surtaxe d'urgence est obligatoire. Les 15,703 dépêches urgentes de jour sont celles pour lesquelles le public a voulu obtenir une transmission plus prompte que celle des télégrammes ordinaires, d'où l'on peut inférer que, 99 fois sur cent, la transmission ordinaire est considérée comme suffisante.

Enfin, le même supplément de taxe permet *le langage ou le chiffre secret*. Il a été appliqué 6 fois à des télégrammes rédigés en langage convenu, incompréhensible pour le bureau d'origine et qui n'ont pu dès lors être admis au tarif ordinaire. Mais il n'y a eu en 1870 que 3 dépêches chiffrées proprement dites, (1) pour lesquelles l'expéditeur ait usé, avec préméditation, de la faculté accordée au public belge depuis le commencement de 1865. En comptant les deux catégories on obtient en une année, 9 dépêches secrètes sur 1,343,000, ou pas une sur cent mille télégrammes.

(1) Encore est-ce un progrès, car il n'y a eu que deux télégrammes privés *en chiffres*, en 1868 ; un seul en 1867 et en 1869.

Les tarifs réduits ont leurs avocats et leurs détracteurs. Les premiers vont parfois jusqu'à attribuer à toute réduction de taxe une augmentation prochaine de produit net. Le travail publié en 1870 a suffisamment établi qu'au moins en matière de correspondances télégraphiques, cet espoir est absolument irréalisable.

Certains opposants prétendent au contraire qu'en faisant de la télégraphie à bon marché, on rend un mauvais service au public qui préférerait retrouver, avec les anciennes taxes, des lignes moins encombrées et des soins plus attentifs.

Les chiffres qui viennent d'être relevés répondent à cette allégation. Le public prouve qu'il apprécie les taxes réduites, non seulement par l'affluence croissante de ses correspondances, mais en négligeant (beaucoup trop à notre avis) des avantages bien supérieurs à ceux que lui offraient les anciens télégrammes d'un franc, simplement parce qu'il devait payer un franc au lieu de cinquante centimes.

CORRESPONDANCES INTERNATIONALES.

Cette dénomination comprend tous les télégrammes échangés entre un bureau belge et un bureau étranger. Le relevé suivant indique pour chaque relation, le nombre de télégrammes dans les deux sens et la somme des parts de taxe revenant au réseau belge, avec l'augmentation obtenue en 1870 relativement à 1869.

RELATIONS TÉLÉGRAPHIQUES de la Belgique AVEC LES PAYS CI-DESSOUS.	NOMBRE DE TÉLÉGRAMMES.				RECETTES AU PROFIT DU RÉSEAU BELGE.			
	En 1869	En 1870	Augmentation.	En plus p. °/o.	En 1869	En 1870	Augmentation.	En plus p. °/o.
					Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.	
Pays-Bas	89.078	98,588	9,310	10 1/2	88,245 96	106,785 40	18,539 44	21
Royaume-Uni (Angleterre, Écosse, Irlande)	66,025	87,307	21,284	32	72,528 04	115,337 83	42,809 79	59
France	126,640	142.772	16,132	12 1/2	135,710 42	164,416 73	28,706 31	21
Grand-Duché de Luxembourg.	5,458	12,519	7,061	129 1/2	5,138 50	12,580 75	7,442 25	145
Allemagne du Nord	81,622	98,665	17,043	21	83,833 71	106,401 50	22,567 79	27
Allemagne méridionale (Autriche, Hongrie)	19,791	20,928	1,137	5 1/2	22,244 74	25,683 62	3,438 88	15 1/2
Suisse	4,571	7,967	3,396	74 1/2	4,714 96	9,615 15	4,900 19	104
Italie, États-Romains, Malte, Corfou . .	8,050	9,040	990	12 1/2	9,149 43	10,202 24	1,052 81	11 1/2
Espagne et Portugal.	2,605	3,541	936	36	3,221 33	4,496 68	1,275 35	39 1/2
États Scandinaves (Danemark, Suède, Norwège).	7,644	10,390	2,746	36	8,543 25	12,561 »	4,015 75	47
Russie	10,949	12,584	1,635	15	13,084 50	16,156 »	3,071 50	23 1/2
Turquie, Grèce, Asie.	3,245	3,345	100	3	4,162 »	3,926 50	—235 50	—5 1/2

CORRESPONDANCES EN TRANSIT.

Il y a eu diminution, de 1869 à 1870, sur toutes les correspondances télégraphiques échangées entre pays étrangers et passant par le réseau belge. L'élément principal de ce transit était la correspondance entre l'Angleterre, (par les câbles des côtes de Belgique) et l'Allemagne du Nord, y compris les aboutissants. Cette correspondance peut être écoulée, dans des conditions de promptitude égales, soit par cette voie, soit par les Pays-Bas, soit enfin par le câble atterrissant directement à la côte allemande, près d'Emden. Avant 1870, les câbles étaient exploités par des compagnies différentes. Depuis que le réseau britannique est racheté et exploité par le gouvernement à l'intervention du Post-Office (5 février 1870), tous les câbles qui réunissent la Grande-Bretagne au Continent sont desservis par une seule compagnie (Submarine Telegraph Company), moyennant un partage convenu de la recette totale. Cette compagnie, de même que le Post-Office, a un intérêt évident à diriger les correspondances vers les câbles d'Emden et des Pays-Bas, sur lesquels la part de recette est plus élevée que sur les câbles de la Belgique. Ceux-ci n'ont donc plus, dans cette direction, que les correspondances qui encombreraient les autres voies.

Quant aux télégrammes qui transitaient par la Belgique, dans d'autres directions, en passant par le territoire de la France, ils ont dû, pendant les derniers mois de 1870, prendre d'autres voies, le réseau français, dont le nœud est à Paris, se trouvant désorganisé par le blocus de cette capitale.

Ces circonstances diverses expliquent suffisamment le fait anormal que fait ressortir le tableau suivant. Une dépression générale s'appliquant, d'une année à l'autre, à toute une catégorie de correspondances.

TRANSIT PAR LA BELGIQUE DES CORRESPONDANCES TÉLÉGRAPHIQUES échangées PAR LES PAYS CI-DESSOUS.	NOMBRE DE TÉLÉGRAMMES.				RECETTES AU PROFIT DU RÉSEAU BELGE.			
	En 1869	En 1870	Diminution.	En moins p. °/o	En 1869	En 1870	Diminution.	En moins p. °/o.
					Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.	
Entre l'Angleterre et l'Allemagne, aboutissants compris	114,917	86,310	28,607	25	189,577 12	148,058 51	41,518 61	22
Entre les Pays-Bas et la France	41,182	36,391	4,791	11 1/2	53,905 98	48,043 25	5,862 73	11
Entre les Pays-Bas et la Suisse	2,559	2,101	458	17 1/2	1,421 14	1,202 24	218 90	15 1/2
Entre les Pays-Bas et l'Italie	10,066	4,811	5,255	52	5,299 02	2,503 80	2,795 22	53
Entre les Pays-Bas, l'Espagne et le Portugal	3,318	2,429	889	27	4,559 20	2,251 46	2,087 74	48
Autres transits (1)	16,151	15,806	345	2	19,174 70	19,827 98	» »	»

(1) Entre le Grand-Duché de Luxembourg, d'une part, et les Pays-Bas ou l'Angleterre, d'autre part, entre la France et l'Allemagne Nord-Ouest, plus certains télégrammes détournés de leur voie habituelle par suite d'interruption ou d'encombrement.

RÉCAPITULATION.

	NOMBRE DE TÉLÉGRAMMES.	
	1869.	1870.
	—	—
Entre deux bureaux belges (*service intérieur*)	1,108,737	1,343,118
Entre un bureau belge et un bureau étranger, (*service international*)	425,676	507,446
Entre deux bureaux étrangers (*service de transit*). .	188,173	147,848
TOTAUX.	1,722,586	1,998,412

		RECETTES AU PROFIT DU RÉSEAU BELGE. (1)			
		1869.		1870.	
		—		—	
		Fr.	C.	Fr.	C.
Service.	intérieur.	598,739	70	744,641	
	international.	450,576	84	588,161	40
	de transit.	273,717	16	221,887	24
TOTAUX.		1,323,033	70	1,554,689	64

		PRODUIT MOYEN PAR TÉLÉGRAMME.		
		1868.	1869.	1870.
		—	—	—
		Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.
Service.	intérieur.	» 56 1/2	» 54	» 55 1/2
	international.	1,12	1,06	1,16
	de transit.	1,45 1/2	1,45 1/2	1,50
MOYENNES GÉNÉRALES.		» 79 1/2	» 77	» 78

(1) Les recettes internationales de 1870 ne sont pas encore définitivement réglées Il y aura, de ce chef, dans les comptes-rendus ultérieurs, des rectifications analogues à celles qui ont été apportées au chiffre de 1869.

On constate que le produit moyen par télégramme, qui tendait à diminuer d'année en année, le public s'habituant aux textes concis et à la suppression de certaines opérations accessoires, s'est relevé en 1870, surtout dans les relations internationales. Cela tient à une proportion un peu plus forte, pendant le second semestre, des dépêches d'État et des correspondances des journaux, qui sont, en tout temps, les plus longues et auxquelles les événements donnaient un développement exceptionnel.

Voici, du reste, la proportion moyenne des télégrammes pour toute l'année, d'après leur objet :

	CORRESPONDANCES TÉLÉGRAPHIQUES.		
	à l'intérieur.	Avec l'étranger.	Ensemble.
Communications des gouvernements et des offices diplomatiques	» 3/4	» 3/4	» 3/4
Nouvelles de bourse . . .	3 1/2	10 1/2	7
Transactions commerciales	37 3/4	55 1/4	46 1/2
Relations privées et de famille.	56	30 3/4	43 1/4
Nouvelles pour les journaux.	2	2 3/4	2 1/2
	100	100	100

En 1869, les communications officielles n'entraient dans la masse qu'à raison de : 1/2 p. °/₀ et les correspondances des journaux à raison de 1 3/4 p. °/₀.

L'usage des timbres d'affranchissement n'a point progressé autant que la recette. Cet usage est obligatoire pour les télégrammes à destination de l'intérieur. Il est facultatif dans l'affranchissement des correspondances pour l'étranger. Si l'on défalque la recette intérieure de la valeur totale des timbres utilisés dans l'année et si l'on rapporte la différence au nombre de télégrammes affranchis en Belgique pour l'étranger, on trouve, pour chacun de ces télégrammes, une valeur moyenne de timbres s'élevant à 84 centimes en 1869 et réduite à 74 centimes en 1870. Ces rapports ne sont que des approximations, mais ils suffisent pour indiquer que la majeure partie des taxes internationales sont versées en espèces et que cette pratique ne tend pas à se modifier.

Voici du reste le relevé complet des timbres débités et utilisés depuis l'institution de ce mode d'affranchissement :

		VALEURS : Fr.	C.
Débité au 1er décembre 1865 au 31 décembre 1866.		536,057	
Annulé après affranchissement, même période . . .		511,255	50
Restait en circulation au 1er janvier 1867		24,801	50
Débité en 1867		599,731	»
TOTAL.		624,532	50
Annulé, après affranchissement en 1867.		594,787	»
Restait en circulation au 1er janvier 1868		29,745	50
Débité en 1868		707,174	50
TOTAL.		736,920	»
Utilisé en 1868.		704,141	»
Restait en circulation au 1er janvier 1869		32,779	»
Débité en 1869		785,279	»
TOTAL.		818,058	»
Utilisé en 1869		776,892	50
Restait en circulation au 1er janvier 1870		41,165	50
Débité en 1870, savoir :			
350,882 formules timbrées, valeur	175,441		
989,237 timbres adhésifs de 50 c.	494,618 50		
276,689 id. id. de 1 fr.	276,689 »		
VALEUR TOTALE		946,748	50
TOTAL.		987,914	»
Utilisé en 1870		931,720	50
Restait en circulation au 1er janvier 1871		56,193	50

Nous reproduisons ci-après, comme dans les statistiques précédentes, la liste des localités du Royaume de Belgique pourvues d'un ou plusieurs bureaux télégraphiques, classées par ordre d'importance d'après le nombre de télégrammes privés *au départ*. Les correspondances pour l'étranger sont comprises dans ce relevé, qu'il est utile de consulter lorsqu'il s'agit de relier au réseau télé-

graphique des localités qui n'ont pas encore joui de cet avantage.

Un simple coup-d'œil suffit pour constater que le trafic, qui est énorme en Belgique, proportionnellement à l'étendue et même à la population de ce pays, se concentre surtout dans les villes principales. Toutefois, il y a progrès dans les campagnes. Sur 412 localités raccordées en 1869, il y en avait eu 102 ayant émis moins d'un télégramme par jour. Ce nombre est réduit à 80, en 1870, sur 420 localités auxquels les appareils télégraphiques ont été accessibles.

Classement des bureaux télégraphiques belges par ordre d'importance, au point de vue des télégrammes privés, au départ.

1	Bruxelles.	474,643	39	Braine-le-Comte.	5,122
2	Anvers.	201,201	40	Seraing.	5,096
3	Liége.	96,306	41	Saint-Trond.	5,071
4	Gand.	76,939	42	Leuze.	4,967
5	Verviers.	33,071	43	Jemmapes.	4,955
6	Louvain.	32,820	44	Grammont.	4,935
7	Mons.	31,836	45	Tongres.	4,875
8	Namur.	30,374	46	Couillet.	4,688
9	Charleroi.	28,374	47	Turnhout.	4.499
10	Bruges.	25.653	48	Lierre.	4,364
11	Tournai.	24,421	49	Renaix.	4,355
12	Ostende.	23.222	50	Blankenberghe.	4,277
13	Courtrai.	22,676	51	Menin.	4.017
14	Malines.	15.446	52	Chênée.	3,940
15	Spa.	13,127	53	Waremme.	3,892
16	Alost.	11,849	54	Chimay.	3,700
17	Arlon.	10,895	55	Libramont.	3,651
18	Huy.	10,791	56	Audenarde.	3,486
19	Mouscron.	10,005	57	Lokeren.	3,432
20	Châtelineau.	9,814	58	Lodelinsart.	3,385
21	Termonde.	9,159	59	Soignies.	3,369
22	Marchiennes.	8,407	60	Manage.	3.350
23	Bouillon.	7,902	61	Gilly.	3,341
24	Saint-Nicolas.	7,862	62	Vilvorde.	3,236
25	Ypres.	7,770	63	Hal.	3,230
26	Dinant.	7,559	64	Gembloux.	3,220
27	Hasselt.	7,320	65	Wavre.	3,174
28	Quiévrain.	7,254	66	Virton.	3,164
29	Saint-Ghislain.	7,237	67	Roux.	3,150
30	Ath.	6,888	68	Marche.	3,029
31	Gosselies.	6,578	69	Andenne.	2,892
32	Tirlemont.	6.557	70	Mariemont.	2,874
33	Roulers.	6.053	71	Landen.	2,854
34	Beverloo.	6,029	72	Furnes.	2,824
35	Binche.	5.907	73	Enghien.	2,732
36	La Louvière.	5,570	74	Selzaete.	2,728
37	Nivelles.	5,468	75	Boussu.	2,718
38	Diest.	5,128	76	Lessines.	2,711

77	Péruwelz.	2,644	120	Thielt.	1,655
78	Ruysbroeck.	2,621	121	Dour.	1,624
79	Jodoigne.	2,535	122	Feluy-Arquennes.	1,617
80	Fleurus.	2,476	123	Rochefort.	1,595
81	Pepinster.	2,474	124	Hannut.	1,561
82	Écaussines.	2,426	125	Antoing.	1,554
83	Florenville.	2,422	126	Brée.	1,536
84	Thuin.	2,385	127	Farciennes.	1,533
85	Ciney.	2,364	128	Herenthals.	1,531
86	Tamise.	2,347	129	Ans.	1,508
87	Boom.	2,335	130	Berzée.	1,507
88	Saint-Bernard.	2,282	131	Stavelot.	1,488
89	Erquelines.	2,222	132	Momignies.	1,483
90	Bastogne.	2,178	133	Belœil.	1,470
91	Haine-St-Pierre.	2,162	134	Saint-Hubert.	1,455
92	Thourout.	2,151	135	Poix.	1,451
93	Dolhain.	2,115	136	Willebroeck.	1,448
94	Eecloo.	2,104	137	Brugelette.	1,444
95	Ninove.	2,079	138	Jumet.	1,427
96	Poperinghe.	2,069	139	Frameries.	1,424
97	Jemeppe.	2,063	140	Hamme.	1,416
98	Deynze.	2,058	141	Walcourt.	1,382
99	Neufchâteau.	2,044	142	Maeseyck.	1,372
100	Dixmude.	1,957	143	Haerlebeke.	1,362
101	Mariembourg.	1,951	144	Pâturages.	1,355
102	Fontaine-l'Évêque.	1,904	145	Visé.	1,350
103	Beaumont.	1,869	146	Genappe.	1,340
104	Couvin.	1,855	147	Tilleur.	1,335
105	Philippeville.	1,842	148	Herve.	1,328
106	Acoz.	1,828	149	Longlier.	1,310
107	Tamines.	1,817	150	Jupille.	1,309
108	Tubize.	1,814	151	Zele.	1,308
109	Blaton.	1,782	152	Comines.	1,305
110	Wetteren.	1,770	153	Jauche.	1,282
111	Ottignies.	1,762	154	Bracquegnies.	1,278
112	Blandain.	1,759	155	Jemelle.	1,277
113	Nieuport.	1,706	156	Iseghem.	1,258
114	Marbehan.	1,699	157	Floreffe.	1,257
115	Vieux-Dieu	1,696	158	Houdeng.	1,218
116	Aerschot.	1,691	159	Gouy-lez-Piéton.	1,247
117	Beauraing.	1,688	160	Dison.	1,246
118	Morlanwelz.	1,656	161	Flémalle.	1,240
119	Ensival.	1,655	162	Herbesthal.	1,224

163	Marbais.	1,223	206	Bertrix.	889
164	Lichtervelde.	1,217	207	Duffel.	889
165	Auvelais.	1,200	208	La Sambre.	889
166	Vielsalm.	1,191	209	Laeken.	885
167	Perwez.	1,185	210	Lobbes.	880
168	Fosses.	1,175	211	Theux.	880
169	Trooz.	1,164	212	Basècles.	875
170	Sombreffe.	1,162	213	Wychmael.	858
171	Eghezée.	1,159	214	Puers.	857
172	Mont-St-Guibert.	1,153	215	Nessonvaux.	854
173	Sotteghem.	1,148	216	Cerfontaine.	852
174	Ougrée.	1,144	217	Ingelmunster.	851
175	Merbes-le-Château.	1,136	218	Contich.	834
176	Chaudfontaine.	1,107	219	Gastuche.	829
177	Quévy.	1,167	220	Beeringen.	822
178	Wellin.	1,096	221	Aeltre.	811
179	Moustier.	1,085	222	Westmeerbeek.	810
180	Wasmes.	1,085	223	La Hulpe.	808
181	Looz.	1,078	224	Moerbeke.	802
182	Beveren.	1,066	225	Waereghem.	798
183	Quaregnon.	1,051	226	Hastière.	794
184	Lillo.	1,038	227	Seneffe.	792
185	Sclaigneaux.	1,034	228	Piéton.	790
186	Avelghem.	1,001	229	Ternath.	778
187	Braine-l'Alleud.	1,001	230	Athus.	777
188	Paliseul.	1,000	231	Amay.	773
189	Moll.	998	232	Gedinne.	766
190	Yvoir.	991	233	Lanklaer.	761
191	Court-St-Etienne.	984	234	Cappellen.	756
192	Heer-Agimont.	973	235	Montzen.	754
193	Rance.	972	236	Lanaeken.	746
194	Florennes.	957	237	Saint-Léger.	746
195	Uccle.	950	238	Basel.	711
196	Wervicq.	942	239	Gheel.	701
197	Bloemendael.	941	240	Esschen.	692
198	Denderleeuw.	938	241	Frasnes.	688
199	Wespelaer.	935	242	La Roche.	680
200	Lembecq	929	243	Luttre.	680
201	Saventhem.	929	244	Neerpelt.	679
202	Boitsfort.	927	245	Jurbise.	677
203	Waterloo.	908	246	Solre-sur-Sambre.	676
204	Aubel.	894	247	Hamoir.	674
205	Grupont.	892	248	Ramillies.	670

249	Melle.	663	292	Loth.	513
250	Marloie.	655	293	Anthée.	510
251	Hoogstraeten.	653	294	Lustin.	510
252	Obourg.	650	295	Houffalize.	505
253	Brasschaet.	646	296	Rhisnes.	503
254	Néchin.	638	297	Burdinne.	500
255	Buggenhout.	629	298	Esemael.	494
256	Argenteau.	624	299	Wilryck.	493
257	Engis.	624	300	Westerloo.	488
258	St-Denis-Bovesse.	620	301	Habay.	487
259	Bascoup-Chapelle.	615	302	Messancy.	483
260	Habay-la-Neuve.	608	303	Heyst-op-den-Berg	475
261	Le Rœulx.	601	304	Plasschendaele.	474
262	Namèche.	596	305	Doische.	470
263	Tervueren.	590	306	Lens.	466
264	Barvaux.	588	307	Angleur.	463
265	Fexhe-le-Haut-Clocher.	585	308	Wandre.	459
266	Landeghem.	581	309	Chastre.	458
267	Thulin.	579	310	Bassilly.	457
268	Esneux.	574	311	Melreux.	455
269	Comblain-au-Pont.	572	312	Gerpinnes.	451
270	Aywaille.	570	313	Morialmé.	448
271	Nimy.	566	314	Roclenge.	446
272	Léau.	558	315	Aye.	445
273	Londerzeel.	555	316	Étalle.	443
274	Vlamertinghe.	555	317	Pont-à-Celles.	439
275	Herstal.	550	318	Jambes.	433
276	Jamoigne.	550	319	Bousval.	432
277	Assche.	549	320	Poulseur.	430
278	Hoboken.	549	321	Barry-Maulde.	429
279	Assesse.	546	322	Vierves.	428
280	Ham-sur-Heure.	546	323	Sichem.	426
281	Terwagne.	545	324	Ligne.	423
282	Celles.	544	325	Heyst.	421
283	Capelle-au-Bois.	541	326	Audeghem.	413
284	Saintes.	536	327	Groenendael.	412
285	Hougaerde.	535	328	Hennuyères.	404
286	Ghistelles.	534	329	Cronfestu.	389
287	Bonne-Espérance.	532	330	La Buissière.	389
288	Havelange.	518	331	Anseghem.	387
289	Havré.	518	332	Leuze-Longchamps	387
290	Silenrieux.	517	333	Lede.	384
291	Pommerœul.	514	334	Borsbeek-Wommelghem.	379

335	Peer.	378	378	Schelde-Windeke.	260
336	Jabbeke.	376	379	Templeuve.	260
337	Champlon.	373	380	Amougies.	251
338	Maldeghem.	371	381	Calmpthout.	246
339	Meulebeke.	369	382	Jamioulx.	243
340	Haversin.	368	383	Dottignies.	235
341	Bas-Oha.	362	384	Bomal.	233
342	Romedenne.	361	385	Naninne.	230
343	Gavre.	356	386	Berlaer.	229
344	Marche-les-Dames	354	387	Glons.	227
345	Sterpenich.	352	388	Védrin.	216
346	Nandrin.	350	389	Fraire.	212
347	Lierde-Ste-Marie.	348	390	Sleydinge.	206
348	Dave.	347	391	Rixensart.	205
349	Villers-la-Ville.	347	392	Schellebelle.	201
350	Bilsen.	340	393	Villers-le-Gambon.	201
351	Eerneghem.	339	394	Landelies.	200
352	Ghislenghien.	333	395	Martelange.	199
353	Bois-du-Luc.	332	396	Waerschoot.	192
354	Boisschot.	326	397	Bouchout.	189
355	Comblain-la Tour.	326	398	Norderwyck-Morckhoven	189
356	Cortenberg.	324	399	Anvaing.	186
357	Sweveghem.	324	400	Vertryck.	184
358	Kermpt.	323	401	Zonhoven.	174
359	Callenelle.	322	402	Nederzwalm.	168
360	Oostvleteren.	320	403	Balgerhoecke.	164
361	Bure.	319	404	Achel.	160
362	Liers.	319	405	Peissant.	148
363	Montigny-s.-Sambre	314	406	Hoesselt.	147
364	Tête-de-Flandre.	306	407	L'Abeele.	130
365	Weert-Saint-Georges.	306	408	Natoye.	120
366	Godinne.	301	409	Merlemont.	115
367	Rotselaer.	299	410	Munsterbilsen.	115
368	Adinkerke.	293	411	Etichove.	110
369	Moorslede-Passchendaele	282	412	Hanzinne.	110
370	Rousbrugge.	280	413	La Pinte.	105
371	Schuelen.	280	414	Rocour.	101
372	Saint-Lambert.	279	415	Romerée.	99
373	Vaulx.	275	416	Helchteren.	93
374	Jette.	273	417	Diepenbeek.	90
375	Burst.	271	418	Beverst.	84
376	Tilff.	271	419	Boussu-en-Fagne.	79
377	Terdonck.	267	420	Milmort.	75

421	Ardennes.	65	424	Sysseele.	19
422	L'Olive.	65	425	Eygenbilsen.	11
423	Weelde-Merxplas.	61	426	Touquet.	1

Répartition du travail entre les divers bureaux d'une même localité ou circonscription.

		TÉLÉGRAMMES expédiés.
Bruxelles (Station du Nord)		150,753
Id. (Ministère des travaux publics)		26,214
Id. (Station du Midi)		25,117
Id. (Palais législatif)		20,607
Id. (Station du Luxembourg)		18,926
Bureaux de dépôt :	Poste centrale	56,145
Id.	Rue des Chartreux	10,872
Id.	Molenbeek	10,588
Id.	Ixelles	10,180
Id.	Station centrale des omnibus	9,038
Id.	Saint-Josse-ten-Noode	5,356
Id.	Saint-Gilles	2,377
Id.	Rue de la Loi	163
Id.	Chaussée de Louvain	144
Id.	Bruxelles-Josaphat	97
Id.	Rue Rogier	86
Id.	Cureghem	64
Id.	Forest	27
Id.	Rue des Palais	25
Id.	Haeren	12
Id.	Velthem-Beyssem	4
	TOTAL DES TÉLÉGRAMMES EXPÉDIÉS	326,795
	TÉLÉGRAMMES EN TRANSIT	147,848
	TOTAL	474,643

Anvers (Bourse)		127,311
Id. (Escaut)		38,866
Id. (Station)		35,012
Bureaux de dépôt :	Berchem (Poste)	8
Id.	Id. (Station)	4
	TOTAL	201,201

Liége (Central)	64,429	
Id. (Station des Guillemins)	19,406	
Id. (Id. de Longdoz)	7,785	
Id. (Id. de Haut-Pré)	2,196	
Id. (Id. de Vivegnis)	1,615	
Dépôt : Liége (Outre-Meuse)	873	
Id. Fléron	2	
TOTAL.	96,306	
Gand (Bourse)	57,036	
Id. (Station de l'État)	30,468	
Id. (Id. de Waes)	2,986	
Id. (Id. d'Eecloo)	1,239	
Dépôt : Rue Saint-Sauveur	4,097	
Id. Faubourg de Bruges	1,013	
Id. Tronchiennes	59	
Id. Wondelghem	28	
Id. Evergem	7	
Id. Loo-Christy	4	
Id. Saint-Denis-Westrem	1	
Id. Synghem	1	
TOTAL.	76,939	
Verviers	27,100	
Dépôt de Verviers	5,971	
TOTAL.	33,071	
Louvain	30,980	
Dépôt : Louvain (Poste)	1,734	
Id. Wychmael	80	
Id. Velthem-Beyssem	11	
Id. Vertryck	6	
Id. Corbeek-Loo	4	
Id. Winghe-Saint-Georges	3	
Id. Hamme-Mille	2	
TOTAL.	32,820	
Mons	22,117	31,836
Dépôt de Mons	9,719	
Namur	26,930	30,374
Dépôt : Namur	3,429	
Id. Flawinne	15	
Charleroi (État)	27,233	28,374
Id. (Ville Haute)	1,141	

Bruges	25,323	25,653
Dépôt : Poste de Bruges	210	
Id. Bruges (Bassin)	71	
Id. Wondelghem	28	
Id. Oostcamp	21	
Ostende	15,473	23,222
Dépôt d'Ostende	7,749	
Courtrai	22,675	22,676
Dépôt de Messines	1	
Malines	15,316	15,446
Dépôt : Malines	84	
Id. Hombeek	27	
Id. Weerde	14	
Id. Boortmeerbeek	5	
Spa (Poste)	11,543	13,127
Id. (Station)	1,584	
Alost	11,813	11,849
Dépôt : Erembodeghem	35	
Id. Alost	1	
Huy	10,789	10,791
Dépôt : Warnant-Dreye	2	
Châtelineau	9,812	9,814
Dépôt de Mettet	2	
Termonde	9,151	9,159
Dépôt : Malderen	8	
Arlon	8,394	8,498
Dépôt : Fouches	99	
Id. Attert	3	
Id. Autel-Bas	2	
Saint-Nicolas	7,779	7,862
Dépôt : Saint-Nicolas	79	
Id. Saint-Gilles (Waes)	4	
Ypres	7,714	7,770
Dépôt : Messines	38	
Id. Ypres	14	
Id. Merckem	3	
Id. Alveringhem	1	
Dinant (Poste)	6,762	7,559
Id. (Station)	797	

Hasselt (Poste)	5,681	7,320
Id. (Station)	1,639	
Quiévrain	7,246	7,254
Dépôt : Roisin	8	
Saint-Ghislain	7,160	7,237
Dépôt de Baudour	77	
Ath	6,850	6,888
Dépôt : Rebaix	36	
Id. Chièvres et Attre	2	
Gosselies (Poste)	4,029	6,578
Id. (Station)	2,549	
Tirlemont	6,469	6,557
Dépôt : Tirlemont	50	
Id. Esemael	19	
Id. Vertryck	16	
Id. Corbeek-Loo	3	
Roulers	6,027	6,033
Dépôt : Hooglede	6	
Binche (Station)	4,713	5,907
Id. (Poste)	1,194	
Nivelles	5,418	5,468
Dépôt de Nivelles	57	
Diest (Poste)	4,677	5,128
Id. (Station)	437	
Dépôt : Tessenderloo	14	
Braine-le-Comte	5,090	5,122
Dépôt Rebecq	18	
Id. Hennuyères	14	
Seraing	5,073	5,096
Dépôt de Seraing	23	
Saint-Trond (Poste)	3,679	5,071
Id. (Station)	1,392	
Grammont	4,854	4,935
Dépôt : Gammerages	41	
Id. Schendelbeke	21	
Id. Acren	18	
Id. Rebecq	1	
Tongres (Poste)	3,137	4,875
Id. (Station)	1,738	

Turnhout	4,493	4,499
Dépôt : Arendonck	4	
Id. Turnhout	2	
Lierre	4,264	4,364
Dépôt : Lierre	97	
Id. Bouwel	3	
Waremme	3,692	3,892
Dépôt : Rosoux-Goyer	143	
Id. Gingelom	44	
Id. Remicourt	13	
Audenarde	3,484	3,486
Dépôt : Synghem	2	
Lodelinsart	3,376	3,385
Dépôt de Lodelinsart	9	
Soignies	3.367	3,369
Dépôt : Moortzele	2	
Manage	3,290	3,350
Dépôt de Familleureux	60	
Vilvorde	3,190	3,236
Dépôt : Haeren	41	
Id. Wolverthem	3	
Id. Weerde	2	
Hal	3,186	3,230
Dépôt : Lembecq	44	
Marche	2,998	3,029
Dépôt : Marche	31	
Landen	2,723	2,854
Dépôt : Gingelom	67	
Id. Rosoux-Goyer	52	
Id. Esemael	12	
Furnes	2,820	2,824
Dépôt d'Alveringhen	4	
Enghien	2,705	2,732
Dépôt de Gammerages	17	
Id. Rebecq	10	
Lessines	2,662	2,711
Dépôt : Acren	22	
Id. Rebaix	15	
Id. Flobecq	12	

Péruwelz (Station)	2,134	2,644
Id. (Poste)	501	
Dépôt : Péruwelz	9	
Ruysbroeck	2,614	2,621
Dépôt de Forest	7	
Jodoigne	2,525	2,535
Dépôt de Jodoigne	10	
Écaussines	2,380	2,426
Dépôt de Familleureux	41	
Id. Marche-les-Écaussines	5	
Ciney	2,293	2,364
Dépôt de Ciney	71	
Tamise (Poste)	2,167	2,347
Id. (Station)	180	
Bastogne	2,139	2,178
Dépôt : Sibret	39	
Ninove	2,079	2,079
Dépôt : Schendelbeke	7	
Id. Okegem	1	
Poperinghe	2,059	2,069
Dépôt de Rousbrugge-Haringhe	10	
Deynze	1,996	2,058
Dépôt : Olsene	36	
Id. Machelen	20	
Id. Cruyshautem	3	
Id. Nevele	3	
Tubize	1,769	1,814
Dépôt : Lembecq	40	
Id. Hennuyères	5	
Wetteren	1,720	1,770
Dépôt de Quatrecht	48	
Id. Wondelgem	2	
Nieuport (Station)	843	1,706
Id. (Poste)	564	
Id. (Bains)	292	
Dépôt de Nieuport	7	
Marbehan	1,689	1,699
Dépôt de Marbehan	10	

Vieux-Dieu	1,691	1,696
Dépôt de Berchem (Station)	5	
Aerschot	1,679	1,691
Dépôt d'Aerschot	12	
Hannut	1,560	1,561
Dépôt : Warnant-Dreye	1	
Antoing (Poste)	822	1,554
Id. (Station)	732	
Herenthals	1,527	1,531
Dépôt : Bouwel	4	
Belœil	1,469	1,470
Dépôt : Moortzele	1	
Willebroeck (Poste)	1,342	1,448
Id. (Station)	106	
Brugelette	1,437	1,444
Dépôt : Chièvres et Attre	7	
Walcourt	1,377	1,382
Dépôt de Walcourt	5	
Comines	1,285	1,305
Dépôt : Warneton	11	
Id. Messines	6	
Id. Ypres	3	
Floreffe	1,250	1,257
Dépôt de Flawinne	7	
Marbais	1,164	1,223
Dépôt de Marbais	59	
Fosse	1,174	1,175
Dépôt de Mettet	1	
Sotteghem	1,135	1,148
Dépôt de Sotteghem	13	
Bloemendael	891	941
Dépôt : Wyngene	33	
Id. Oostcamp	17	
Denderleeuw	913	938
Dépôt : Okegem	18	
Id. Erembodeghem	6	
Id. Esschene	1	

Wespelaer	864	935
Dépôt de Wychmael	71	
Grupont	812	892
Dépôt de Grupont	80	
Laeken (Station)	788	885
Id. (Palais)	97	
Basècles	873	875
Dépôt de Basècles	2	
Puers (Poste)	819	857
Id. (Station)	38	
Cerfontaine	850	852
Dépôt de Cerfontaine	2	
Gastuche	828	829
Dépôt : Grez-Doiceau	1	
La Hulpe	769	808
Dépôt de La Hulpe	29	
Id. Isque	10	
Moerbeke	801	802
Dépôt : Stekene	1	
Waereghem	755	798
Dépôt : Olsene	29	
Id. Wacken	11	
Id. Machelen	3	
Ternath	777	778
Dépôt : Dilbeek	1	
Esschen	690	692
Dépôt d'Esschen	2	
Hamoir	662	674
Dépôt de Hamoir	12	
Melle	640	663
Dépôt : Quatrecht	22	
Id. Landscauter	1	
Namèche	591	596
Dépôt de Namèche	5	
Fexhe-le-haut-Clocher	572	585
Dépôt : Remicourt	13	

Landeghem	524	581
Dépôt : Nevele	57	
Id. Somergem	12	
Id. Tronchiennes	8	
Ham-sur-Heure	544	546
Dépôt d'Ham-sur-Heure	2	
Capelle-au-Bois	537	541
Dépôt de Hombeek	4	
Houffalize	502	505
Dépôt : Gouvy	3	
Messancy	481	483
Dépôt de Messancy	1	
Bassilly	446	457
Dépôt : Silly	11	
Melreux	452	453
Dépôt d'Érezée	1	
Gerpinnes	450	451
Dépôt de Gerpinnes	1	
Morialmé (bifurcation)	266	448
Pavillons-Staves	182	
Romedenne	552	561
Dépôt : Surice	9	
Lierde Sainte-Marie	539	548
Dépôt de Nederbrakel	9	
Cortenberg	315	524
Dépôt de Velthem-Beyssem	4	
Sleydinge	205	206
Dépôt d'Evergem	1	
Schellebelle	200	201
Dépôt de Wichelen	1	
Anvaing	184	186
Dépôt d'Anvaing	2	
La Pinte	103	105
Dépôt : Saint-Denis-Westrem	2	

TÉLÉGRAMMES DE SERVICE.

En général, cette dénomination n'est appliquée qu'aux correspondances échangées pour le service télégraphique lui-même.

Les télégrammes du service d'exploitation des chemins de fer sont ordinairement transmis par les fils et les appareils spéciaux des compagnies concessionnaires et ne figurent pas dans la statistique des télégraphes de l'État.

En Belgique, où le Gouvernement exploite les principales lignes de chemins de fer, son réseau télégraphique est utilisé en presque totalité par la télégraphie d'exploitation. Il y a échange de services gratuits en ce sens que les locaux et le personnel des stations sont utilisés à la télégraphie privée. Cet échange se retrouve, en vertu de conventions synallagmatiques, sur les lignes de chemins de fer exploitées par des compagnies, mais les télégrammes de ces chemins de fer ne sont pas comptés dans les totaux suivants, donnant, par année, le nombre de télégrammes de service depuis 1866 :

1866	311,837
1867	361,440
1868	320,481
1869	315,722
1870	403,353

Les mesures prescrites pour prévenir l'encombrement des lignes par les télégrammes de service, avaient produit un effet marqué en diminuant le nombre de ces correspondances, en 1868 et 1869, malgré le développement continu de toutes les branches du trafic. Mais en 1870, les exigences de toute nature auxquelles ont dû satisfaire, notamment, les chemins de fer et les télégraphes, ont amené un accroissement énorme de dépêches administratives dont l'objet peut être indiqué, pour chaque semestre, par la répartition proportionnelle suivante :

	1er SEMESTRE.	2e SEMESTRE.
Service télégraphique	6 1/2	8
Chemins de fer de l'État. — convois, matériel, mouvement	49	51 1/2
Chemins de fer de l'État. — Colis égarés, dévoyés, etc.	30 1/2	27 1/2
Postes, personnel et autres affaires administratives	14	13
	100	100

De même qu'aux années précédentes, l'exploitation des chemins de fer de l'État entre, pour les quatre cinquièmes, dans le mouvement général des dépêches de service et l'on peut affirmer que ces dépêches, restreintes aux communications qui ne pourraient, sans dommage, être confiées à la voie ordinaire, représentent pour le public et pour le gouvernement, une valeur généralement supérieure à celle des télégrammes privés.

Elles portent à 2,401,765 le nombre total de correspondances transmises en 1870 par le réseau télégraphique de l'État.

MOYENS DE CORRESPONDANCE. SITUATION AU 31 DÉCEMBRE 1870.

La situation du réseau télégraphique belge et les extensions des deux dernières années sont indiquées par le tableau ci-après :

INDICATION des ÉPOQUES.	Longueur des lignes télégraphiques, en kilomètres.	Développement des fils conducteurs, en kilomètres.	Nombre de bureaux ouverts au public.	Nombre d'appareils en service.
Au 31 décembre 1868	4,079	12,572	410	656
— — 1869	4,204	13,356	433	667
— — 1870	4,342	14,152	445	717
Extension en 1869	125	784	23	11
— — 1870	138	796	12	50
— pendant les 2 années.	263	1,580	35	61

Les lignes télégraphiques de l'État occupaient donc, à la fin de 1870, une longueur totale de 4,342 kilomètres, comprenant un développement total de 14,152 kilomètres de fils conducteurs, établis comme il suit :

	LIGNES. Kilomètres.	FILS CONDUCTEURS. Kilomètres.
Fils sur poteaux, établis savoir :		
Sur les chemins de fer de l'État. .	1,059	7,973
Sur les chemins de fer concédés .	2,083	4,423
Sur les routes ordinaires	1,192	1,624
Fils souterrains, dans les villes . . .	8	132
TOTAUX.	4,342	14,152

Il y a, en outre, 1,487 kilomètres de fils établis aux frais des concessionnaires de chemins de fer. Ces fils, ainsi que les appareils qui les desservent, sont utilisés, en presque totalité, aux correspondances privées, comme moyen auxiliaire de communication.

Le réseau télégraphique complet de la Belgique comprend donc 15,639 kilomètres de fils conducteurs.

Il y a eu, en 1870, 12 bureaux télégraphiques nouveaux, ouverts aux correspondances du public. Les 445 bureaux fonctionnant au 31 décembre 1870 sont répartis comme il suit :

A. Bureaux de l'État installés, savoir :	
Dans les stations des chemins de fer de l'État . . .	130
» » » » concédés . . .	104
Au centre des villes ou communes.	86
Nombre total des bureaux de l'État	320
B. Stations des chemins de fer concédés, où les appareils sont utilisés aux télégrammes privés	125
TOTAL GÉNÉRAL . . .	445

L'appareil Morse est d'un emploi général dans tous les bureaux de l'État. Les bureaux principaux de Bruxelles et d'Anvers emploient en outre l'appareil Hughes, entre eux et dans leurs relations avec l'étranger. Quelques bureaux, d'autre part, utilisent des

appareils à cadran et à lettres pour correspondre avec les stations de certains chemins de fer concédés.

La situation des appareils télégraphiques de l'État, au 31 décembre 1870, est indiquée par le relevé suivant :

	EN SERVICE.	EN RÉSERVE.	ENSEMBLE.
Appareils Morse	657	40	697
» Hughes	8	»	8
» à cadran, système Lippens.	23	6	29
» » » Breguet.	11	4	15
TOTAUX.	699	50	749

Le nombre des bureaux télégraphiques ouverts aux correspondances privées, dans les divers États de l'Europe, est indiqué par le relevé ci-après, qui comprend les stations de chemins de fer dont les appareils sont mis à la disposition du public et qui se rapporte aux informations reçues en Belgique à la fin de l'année :

France	2,840
Grande Bretagne et Irlande	2,324
Allemagne du Nord	1,883
Autriche-Hongrie	1,388
Italie	978
Bavière	587
Suisse	546
Belgique	445
Russie	288
Bade (Grand-Duché)	218
Wurtemberg	203
Espagne	196
Pays-Bas	186
Suède	150
Norvége	121
Portugal	114
Danemark	97
Roumanie	54
Turquie d'Europe	31
Serbie	29
Luxembourg	29
Grèce	27

Le personnel de la télégraphie belge se composait, au 31 décembre 1869, des éléments suivants :

Fonctionnaires et employés de la direction centrale, chef de service et adjoints, ingénieurs, contrôleurs, vérificateurs, instructeurs	46
Gestion des bureaux principaux : percepteurs, chefs de bureau, commis-chefs	23
Commis, surnuméraires et élèves chargés, dans les bureaux télégraphiques d'une certaine importance, de la manœuvre des appareils, de la perception des taxes, etc	453
Facteurs, agréés et apprentis, contre-maîtres et poseurs, préposés à l'entretien des lignes, bureaux et appareils, au classement matériel des archives, à la surveillance des porteurs, etc.	159
Agents payés *à la course* ou à l'heure, pour le port à domicile des télégrammes, environ.	435
Personnel spécial.	1,116
Suppléants empruntés, pour manœuvrer les appareils, dans les bureaux secondaires, au personnel des chemins de fer de l'État et des postes	649
Auxiliaires empruntés, pour le même objet, aux chemins de fer concédés	377
Nombre total des personnes qui participent au service télégraphique (1)	2,142

DÉPENSES.

Le somme des crédits alloués pour l'établissement, l'acquisition et l'extension des lignes télégraphiques du gouvernement belge, pendant les 21 premières années d'exploitation (1850-1870), s'élève à 2,511,000 fr. Cette somme était entièrement dépensée au 31 décembre 1870.

(1) Ce nombre ne comprend pas les agents assez nombreux qui portent des télégrammes à domicile sans faire de ce service leur occupation exclusive.

Il a été établi, d'après l'*Exposé des motifs* cité l'année dernière :

1° Que les frais d'établissement successifs ayant été amortis largement par les produits nets annuels, les frais de personnel et d'entretien constituent, avec les extensions nouvelles qui ne seraient plus amorties, la seule dépense à porter annuellement au débit de la télégraphie ;

2° Que les transmissions gratuites fournies, à titre d'échange à l'ensemble de l'administration et, notamment, aux chemins de fer, compensent amplement le concours quo le télégraphe en obtient.

Les frais de la *télégraphie privée* sont donc représentés, au maximum, par les dépenses imputées sur le budget spécial des télégraphes, savoir pour les trois derniers exercices :

	1868.	1869.	1870.
	Fr.	Fr.	Fr.
Traitements	680,087	784,000	847,265
Salaires des ouvriers et porteurs	363,504	377,700	421,296
Entretien du matériel.	141,892	146,600	169,797
TOTAUX . .	1,185,483	1,308,300	1,438,358

Il y a lieu de remarquer que les chiffres de 1870 ne sont pas encore définitivement réglés. D'autre part, pour comparer les dépenses totales avec celles des années précédentes, il faut en défalquer une partie du traitement des percepteurs des postes, mise à la charge du budget des télégraphes, depuis 1868, du chef de leur participation à ce service.

En divisant les sommes restantes par le nombre total d'unités de travail de l'année (5 unités par télégramme à l'intérieur, 3 par télégramme international et 2 par dépêche en transit), on obtient approximativement la valeur moyenne de l'unité de dépense et, par là, le prix de revient par télégramme de chaque catégorie.

Les chiffres ci-après rectifient et complètent, à ce point de vue, le relevé des prix de revient inséré dans l'exposé des motifs déjà rappelé :

		1868.	1869.	1870.
		Fr.	Fr.	Fr.
Frais de la télégraphie privée.		1,155,833	1,243,300	1,373,500
Nombre d'unités de dépense .		6,298,011	7,197,059	8,533,624
Valeur moyenne de l'unité . .		18c,35	17c,28	16c,10
Coût par télégramme.	à l'intérieur. .	fr. » 92	fr. » 86	fr. » 81
	avec l'étranger	» 55	» 52	» 48
	en transit. . .	» 37	» 35	» 32

IRRÉGULARITÉS.

Les six derniers mois de 1870 ont été une période d'épreuve pour les télégraphes de la Belgique, moins encore par l'énorme affluence des correspondances, en général, que par leur accumulation à certains jours et dans des parties du réseau où le service ordinaire est à peu près nul. Les moyens de correspondance, le personnel surtout, malgré le travail excessif imposé à son dévouement, se sont trouvés parfois bien au-dessous des exigences du moment.

Le public, en général, s'est rendu compte des difficultés de la situation. Mais certains correspondants n'ont pas apprécié suffisamment la quantité considérable de services exactement rendus au Gouvernement, à l'armée, aux chemins de fer, au commerce et aux particuliers, services au milieu desquels de rares irrégularités, parfois supposées ou tout au moins exagérées, n'étaient qu'un infiniment petit absolument inévitable.

Tous les services publics sont plus ou moins exposés à des critiques peu équitables. Mais le télégraphe est spécialement l'objet d'une illusion en vertu de laquelle des correspondants croient avoir, de très-bonne foi, des reproches à lui faire.

Ils savent que le trajet d'un signal électrique est sans durée appréciable; que le temps nécessaire pour épeler un télégramme ordinaire est fort court. Chacun a pu recevoir, une fois en passant, un message lointain dans un délai dépassant, de quelques minutes seulement, la durée de la course du porteur envoyé par le bureau d'arrivée.

Après s'être extasié une fois, l'esprit s'habitue à cette merveille

et il est disposé à exiger qu'elle se renouvelle chaque jour. Il fera bien quelque concession à la longue distance : recevoir à Bruxelles, en deux ou trois heures, un télégramme de Marseille, de Berlin ou de Saint-Pétersbourg ; gagner de 24 heures à trois jours sur le courrier ordinaire, cela vaut amplement l'excédant de la taxe télégraphique sur un port de lettre.

Il n'en est pas ainsi lorsque ce même délai de deux ou trois heures correspond à peu près à la durée du trajet en chemin de fer, du point de départ au point d'arrivée. L'imagination ne peut se faire à l'idée d'un pareil retard. Et cependant, *l'intervalle télégraphique* est le même, puisque l'électricité supprime la distance.

Il peut être plus grand même entre deux villes rapprochées, si la transmission ne peut être opérée de l'une à l'autre, sans réexpédition.

En supprimant la distance, le fluide électrique réalise tout au plus l'hypothèse suivante :

Deux correspondants habitant la même ville ; le message déposé par l'un, après examen et taxation, est dicté à un copiste ; la copie, après vérification, est mise sous enveloppe et envoyée par porteur, avec reçu préparé, au domicile du destinataire.

Il est clair que ces opérations seront très-rapides si le message n'est pas trop long et pourvu qu'il n'y en ait *qu'un seul*, à moins qu'il n'y ait autant d'agents pour taxer, dicter, copier, expédier et porter à domicile, qu'il peut être présenté de messages. Cette dernière condition, (cinq fois autant d'agents que de messages déposés au même moment), n'étant pas complétement réalisable, il faut bien s'attendre à des délais variant, d'après les circonstances, dans des limites assez étendues.

L'agence que nous venons de suppposer ne représente même point toutes les chances de la télégraphie. A part les difficultés techniques, les dérangements momentanés, les précautions minutieuses que réclame le classement des messages, il faut noter que certains d'entre eux doivent être dictés et copiés plusieurs fois avant de parvenir au destinataire. En effet, il est impossible de relier directement entre eux tous les bureaux télégraphiques d'un réseau, quelque rapprochés qu'ils puissent être.

Il y a donc une certaine naïveté à s'étonner du retard d'un télégramme, parce que la transmission d'un signal électrique est instantanée et parce que la distance n'est pas grande. Les autres

conditions étant égales, les délais seraient aussi longs dans les limites d'une même ville. On en a vu la preuve dans les télégraphies locales de Londres et de Paris, excellentes pour échanger des correspondances abrégées en se passant de commissionnaire, et fonctionnant généralement un peu plus vite que la poste, mais véritables mécomptes pour ceux qui s'attendaient à une transmission instantanée.

L'introduction des tubes pneumatiques a pu seule dispenser les réseaux locaux de recourir à des transports par piéton ou par malles-postes, alors seuls moyens pratiques de gagner du temps en transportant un grand nombre de messages à la fois.

Pour juger, il faut connaître et comparer. Pour apprécier un service d'après certains faits, il faut savoir d'abord jusqu'à quel point ces faits sont imputables à l'administration. Il faut les rapporter à l'ensemble. Il faut enfin les comparer aux résultats obtenus par des services similaires.

Dans les conditions exceptionnellement défavorables et difficiles qui se sont produites en 1870, le service des correspondances télégraphiques *à l'intérieur* de la Belgique a reçu 183 réclamations du chef d'omissions, de retard ou d'erreurs dans la transmission des correspondances. Il a été constaté que 108 de ces réclamations n'étaient pas fondées (1). Restent, sur 1,343,118 télégrammes, 75 cas imputables à l'administration, auxquels il convient d'ajouter 168 remboursements de taxe opérés d'office, sans qu'il y eût réclamation, l'administration ayant constaté les irrégularités par son propre contrôle (2).

(1) Erreurs ou chiffres illisibles, adresses fausses ou insuffisantes, par le fait des correspondants eux-mêmes. Retards provenant de la négligence des domestiques ou agents des correspondants, chargés soit de déposer les télégrammes au guichet, soit de remettre au destinataire les dépêches dûment remises à son domicile, etc.

(2) 66 de ces remboursements se rapportent à un incident exceptionnel. Le bureau de Bouillon, complétement encombré de dépêches d'État aux premiers jours de septembre 1870, s'est trouvé dans l'impossibilité de transmettre un grand nombre de télégrammes privés. Les exigences du moment ne lui ont pas même laissé le sangfroid nécessaire pour prévenir les expéditeurs ou pour expédier leurs télégrammes par voie postale. — Bien que l'administration n'eût reçu qu'un petit nombre de réclamations à ce sujet, elle s'est empressée de rechercher toutes les dépêches dont la transmission n'avait plus désormais aucune utilité et d'en rembourser la taxe aux intéressés.

A propos des 655,394 télégrammes *internationaux et en transit*, l'office belge a reçu 228 réclamations, dont il faut déduire :

Réclamations non fondées	78
Faits imputables exclusivement aux offices étrangers	89
Réclamations en instruction à l'étranger	15
TOTAL. .	182

Restent 46 irrégularités dont 27 sont exclusivement imputables à l'office belge. Pour les 19 autres, une partie de la taxe a été remboursée par des offices étrangers qui avaient contribué aux erreurs ou aux retards.

Prises dans leur ensemble, les réclamations sont en bien petite proportion. On peut alléguer, il est vrai, que des correspondants sont ou se croient lésés et ne réclament point. Cela est vrai, jusqu'à un certain point, et il faut le regretter, car les réclamations fondées éclairent l'administration, tandis que les réclamations non fondées éclairent les intéressés par les explications qui leur sont données. Quoi qu'il en soit, il y a quelque intérêt à puiser à l'étranger des éléments de comparaison.

Le gouvernemeut britannique a repris, depuis le 1er février 1870, toutes les lignes télégraphiques du Royaume-Uni. Le Post-Office, qui est chargé de l'exploitation, a eu la hardiesse de faire coïncider, avec cette reprise, une extension considérable du réseau et l'application d'une taxe uniforme et réduite d'un schelling pour toute l'étendue de la Grande-Bretagne et de l'Irlande.

Un rapport des plus intéressants, dû à M. F.-I. Scudamore, secrétaire du Post-Office et promoteur principal de la mesure, expose les premiers résultats de cette œuvre gigantesque, résultats dont il y a lieu de s'applaudir. Après des difficultés momentanées, l'ensemble du nouveau service fonctionne de la manière la plus satisfaisante pour tous les intéressés. Le Post-Office, entre autres progrès, signale qu'il ne reçoit plus qu'une réclamation sur six cents (600) télégrammes, y compris les plaintes non fondées et celles qui se rapporteut aux lignes étrangères.

En calculant de la même manière, l'office belge a reçu pour toute l'année, une réclamation sur 4,862 télégrammes, soit, proportionnellement, un huitième seulement de ce qu'a reçu l'office

britannique. Il faut nécessairement admettre qu'en Angleterre, la première année d'intervention du gouvernement a provoqué des plaintes exagérées et qui n'eussent pas été adressées aux compagnies. On peut alléguer, d'autre part, les proportions colossales que le service a dû atteindre immédiatement après une grande réduction du tarif, dans un pays qui a joui, le premier en Europe, de la télégraphie électrique, où la richesse privée et le développement des affaires dépassent les ressources des autres pays.

Il y a, là aussi une comparaison à établir. M. Scudamore indique, dans son rapport, le trafic intérieur et international des trois derniers trimestres. Nous inscrivons en regard, le trafic du réseau belge.

	NOMBRE DES TÉLÉGRAMMES PRIVÉS.	
	Royaume-Uni.	Belgique.
	—	—
2e trimestre 1870	2,306,340	457,795
3e » »	2,610,237	566,825
4e » »	2,646,438	546,249
Total pour 9 mois......	7,563,015	1,570,869

Ainsi, la Belgique, qui est au Royaume-Uni comme 1 est à 10, en superficie; comme 1 est à 6 en population, a transmis plus que le cinquième des correspondances de ce pays (1).

Le bureau central de Londres (Telegraph-Street) a près de 300 appareils, desservant autant de fils conducteurs. La moyenne de son mouvement quotidien est de 13,000 télégrammes, au départ et à l'arrivée. Le 18 juillet 1870, ce nombre s'est élevée au chiffre énorme de 20,595 télégrammes.

Depuis quelque temps, le bureau principal de Bruxelles (station du Nord) a 4,500 télégrammes par jour, en moyenne, et il a atteint, le 1er mars dernier, le chiffre de 5,624. La proportion est, ici, de 1 à 3 environ. Bruxelles emploie 80 fils conducteurs.

En faisant la part la plus large aux circonstances et à la différence des situations, il est permis de constater que la comparaison n'est pas désavantageuse pour nous.

(1) On a vu, dans les statistiques des années précédentes, que la Belgique avait, en correspondances privées, le tiers du mouvement télégraphique de toute la France.

L'administration des télégraphes de Suisse, vient de publier, sur sa gestion en 1870, un rapport très-complet et très-intéressant. Au point de vue de la télégraphie, la Belgique et la Suisse rencontrent des conditions diverses qui se compensent de manière à créer, de part et d'autre, une importance à peu près égale. La Suisse est moins peuplée, mais ses bureaux télégraphiques ont une clientèle de touristes beaucoup plus nombreuse que les étrangers circulant en Belgique. Le territoire helvétique, plus étendu, réclame un réseau plus développé et un plus grand nombre de bureaux. Les distances sont non-seulement plus grandes, mais plus difficiles et plus lentes à parcourir. De là un besoin de recourir au télégraphe qui n'existe pas chez nous. Quelque bien organisée que soit la poste de la Confédération, elle ne peut égaler la poste belge en rapidité de transport, en nombre de distributions quotidiennes. Le télégramme marche beaucoup plus vite que la lettre, même sur les lignes où les délais télégraphiques sont inévitables. Il a, par conséquent, plus de prix, plus d'attrait pour le public et celui-ci est moins disposé à se plaindre d'un retard plus ou moins long.

De ces différences de situation, il doit résulter que la Suisse, avec plus de bureaux et des lignes plus longues que la Belgique, n'a pas besoin du même développement de fils conducteurs.

Voici, du reste, la situation, de part et d'autre, au 31 décembre 1870 :

	Belgique.	Suisse.
	—	—
Nombre de bureaux télégraphiques .	445	546 (1)
Longueur des lignes (chemins de fer compris)	4,342 km.	5,313 km.
Développement des fils conducteurs.	15,639 »	12,702 »
Télégrammes privés à l'intérieur . .	1,343,118	1,132,029
» » international . .	507,446	387,652
» » en transit . . .	147,848	109,554

La Suisse a eu, en 1870, 200,000 télégrammes à l'intérieur de moins que la Belgique. Mais il faut remarquer que la réduction de la taxe à un demi-franc a été opérée en Suisse deux ans plus tard que chez nous, c'est-à-dire le 1er janvier 1868. Cette mesure n'a

(1) De ces 546 bureaux, 32 sont ouverts seulement pendant la belle saison.

pu produire encore tous ses effets et il ne serait pas étonnant que les deux mouvements devinssent égaux dans quelques années.

Ainsi, l'importance est à peu près la même et il convient de noter que le service télégraphique de la Confédération ne le cède à aucun autre comme progrès et comme administration.

La comparaison nous intéresse donc à tous égards. Si nous obtenons d'aussi bons résultats que la Suisse, nous pouvons les considérer comme satisfaisants. Si nous sommes inférieurs en quelque point, nous avons à en rechercher la cause et, dans le cas où il y aurait de notre faute, à obtenir des progrès en imitant cette excellente organisation.

Le service télégraphique de la Suisse a organisé, en 1870, la statistique du temps moyen exigé pour la transmission des dépêches internes. Bien que nous ayons souvent fait des recherches à ce sujet, nous n'avons point de données réparties sur toute l'année, mais celles que nous fournit une journée d'affluence prise au hasard, suffisent pour comparer approximativement les délais.

Sur 100 télégrammes, les délais ci-dessous se répartissent en moyenne dans la proportion des chiffres indiqués en regard :

	Belgique.	Suisse.
1 à 30 minutes	64,6	39,88
31 à 60 »	29,2	47,39
61 à 90 »	5,2	6,97
91 à 120 »	0,6	5,36
121 à 150 »	0,3	0,22
151 à 180 » et au-delà	0,1	0,18

100 bureaux de destination sont répartis dans la proportion suivante, d'après les délais moyens des télégrammes qu'ils ont reçus

	Belgique.	Suisse.
1 à 30 minutes	63,3	26,52
31 à 60 »	32,8	38,27
61 à 90 »	3,3	18,80
91 à 120 »	0.4	8,58
121 à 150 »	0,2	3,65
151 à 180 »	»	2,33
181 minutes et au-delà	»	1,85

Nous admettrons bien volontiers que notre relevé, qui ne s'applique pas à toute l'année, n'a point l'exactitude de la statistique suisse, mais il y a, entre les deux, une marge suffisante pour nous rassurer. Il suffirait, d'ailleurs, de constater qu'un service qui fait, à juste titre, l'admiration de tous les étrangers comporte des délais de trois heures et plus. Nous voilà bien loin de la transmission instantanée du fluide électrique.

Est-ce à dire que l'administration helvétique prend moins de soins que la nôtre pour écouler promptement les correspondances? Nullement : elle n'a pas besoin de les émettre aussi rapidement; elle n'a pas un personnel aussi nombreux; elle n'a que 2,4 fils en moyenne par ligne, tandis que nous devons en avoir 3,6 pour satisfaire notre public.

Quant aux réclamations, en voici le relevé comparatif :

	Belgique.	Suisse.
1° Service intérieur.		
Nombre total de réclamations	183	78
Réclamations non fondées	108	20
» fondées (1)	75	58
Nombre de télégrammes par réclamation	17,918	19,518
2° Service international.		
Nombre total de réclamations	228	322
Réclamations non fondées	78	59
» en instance	15	80
» fondées	135	183
A déduire faits imputables aux offices étrangers	89	99
Reste en tout ou en partie, à la charge de l'office considéré	46	84
Nombre de télégrammes par réclamation	14,246	5,919

D'après ce relevé, la Suisse aurait l'avantage, quant au service intérieur, et cet avantage serait amplement compensé dans le service international. Pour ce dernier service, les plaintes sont dic-

(1) Il n'est pas fait mention du remboursement d'office, cette mesure n'étant pas appliquée en Suisse.

tées, à peu près partout, par des considérations équivalentes. Pour les relations intérieures il peut y avoir des différences d'appréciation résultant du tempérament du public, de la comparaison avec la vitesse postale, etc. De part et d'autre, le nombre de réclamations est un infiniment petit, relativement au nombre de correspondances. Dans une aussi faible proportion, un incident exceptionnel suffit pour produire une différence relative très-notable.

Il serait à la fois inutile et peu équitable de conclure, en pareille matière, en décernant la supériorité à l'ensemble d'un des deux services considérés. Le mérite de la comparaison est d'établir sans contestation possible, aux yeux du public, que les services télégraphiques les mieux organisés ne sont pas exempts d'omissions, d'erreurs ou de retards.

J. V.

Bruxelles, mai 1871.

NOTICE

SUR

LE CANAL MARITIME DE SUEZ,

PAR

M. WELLENS,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

La date du 17 novembre 1869 a été rendue mémorable dans les annales des travaux publics, par l'inauguration du canal maritime de Suez, reliant la Méditerranée à l'Océan Indien.

Son Altesse le Khédive a consacré le souvenir de cet événement important pour l'Égypte et le commerce du monde entier, par des fêtes splendides, dont la solennité a été rehaussée par la présence de LL. MM. II. l'empereur d'Autriche et l'impératrice des Français et de LL. AA. RR. le prince et la princesse Henri des Pays-Bas, les princes de Prusse et de Hesse.

Des notabilités des arts, des sciences et des lettres, appartenant à tous les pays de l'Europe (1), s'étaient em-

(1) Les invités belges, au nombre de 26, étaient MM. Alvin, conservateur en chef de la Bibliothèque royale; Belpaire, ingénieur en chef des chemins de fer de l'État; Bemelmans, ingénieur des chemins de fer de l'État; Bérardi, homme de lettres; Beyaert, architecte membre de la Commission Royale des monuments; Braekelmans, architecte; Daubresse, industriel; comte de Beaufort; de Bunder de Melsbroek; comte de Jonghe; Émile de Laveleye; de Pret; de

pressées aussi de se rendre à l'invitation que le vice-roi leur avait adressée et de témoigner, par leur présence, de l'immense intérêt que les peuples civilisés prenaient à l'achèvement de cette gigantesque entreprise.

Ce n'est pas ici le lieu de donner une description de ces fêtes; mais nous croyons pouvoir affirmer que ceux qui y ont assisté conserveront le souvenir de la cérémonie religieuse qui les a précédées, c'est-à-dire de la double bénédiction du canal, donnée à Port-Saïd, par les Ulémas et le clergé arménien, en présence d'une nombreuse population, en grande partie musulmane ou arabe. Cette cérémonie empruntait un caractère particulier de grandeur à la nature même des lieux, entre deux horizons immenses et si divers, la Méditerranée d'un côté, le désert de l'autre.

Personne non plus n'oubliera le spectacle imposant qu'offrait le grand nombre de vaisseaux réunis dans la rade et le nouveau port de Port-Saïd, saluant de leurs bordées l'arrivée des augustes hôtes de S. A. le Khédive et l'entrée des navires transatlantiques chargés du transport des invités.

Nous sommes certain aussi que tous ceux qui ont assisté à cette inauguration auront été, comme nous, vivement impressionnés, à la vue de ces mêmes vaisseaux se dirigeant d'une mer vers l'autre, en passant par un canal que la main de l'homme venait d'ouvrir à travers le désert d'Afrique, au milieu de mille difficultés, comme pour constater une fois de plus et de la manière la plus éclatante, ce que peut l'industrie humaine guidée par l'intelligence et secondée par une volonté ferme et énergique.

Witte, capitaine du génie ; du Jardin ; Frédéricx G., homme de lettres ; Groverman O.; Gunther Otto, négociant; docteur Henroz; Marcq, ingénieur des ponts et chaussées; Neyt, attaché de légation; baron du Jardin, id.; Nicaise, major d'artillerie ; J. Portaels, artiste peintre ; Seger, major d'artillerie ; Vaassen, industriel; E. Wauters, artiste peintre ; Wellens, inspecteur général des ponts et chaussées ; Willems, homme de lettres ; Ziane, industriel.

Ayant eu l'honneur d'assister à l'inauguration du canal et d'y représenter le corps des ponts et chaussées de Belgique, nous avons pensé que nos collègues et les lecteurs habituels des *Annales*, nous sauraient gré de trouver dans ce recueil, quoiqu'un peu tardivement, quelques renseignements sur les travaux que nous avons visités.

Comme invité de Son Altesse le Khédive, nous avons d'ailleurs un devoir de reconnaissance à remplir en souvenir de la généreuse hospitalité que nous avons reçue en Égypte. Il nous a paru que nous ne pouvions mieux nous en acquitter, qu'en nous associant à ceux qui se sont donné la mission de faire connaître, à l'honneur du gouvernement égyptien et comme un de ses principaux titres de gloire, l'entreprise gigantesque à laquelle il s'est dévoué avec une remarquable intelligence et qui doit exercer une influence morale et matérielle si grande, non-seulement sur ce pays, mais sur le monde entier.

La simple description de cette entreprise suffira pour faire comprendre que ce n'est qu'au prix d'efforts inouïs et d'un travail sans exemple, que la Compagnie du canal de Suez, placée sous le haut patronage de S. A. le vice-roi d'Égypte, est parvenue à réaliser une œuvre qui a rencontré tant d'objections sérieuses, soulevé, dès le début et jusque dans ces derniers temps, une opposition très vive et qui, même dans le monde des savants, a été longtemps rangée au nombre de ces conceptions hardies que des esprits entreprenants jusqu'à la témérité peuvent un instant imaginer, mais qu'ils doivent bientôt abandonner comme toutes celles qu'il n'est pas donné à la puissance humaine d'aborder.

Si la Compagnie du canal de Suez a été puissamment encouragée dans son entreprise, par l'appui qu'elle a reçu du gouvernement égyptien et le haut patronage que lui a accordé S. A. le Khédive, il faut bien reconnaître aussi que l'accomplissement de cette œuvre est dû, en grande

partie, à son illustre président, M. Ferdinand de Lesseps. Il a fallu le concours de cette intelligence supérieure et infatigable, l'impulsion énergique et persistante qu'il a su communiquer à tous, pour vaincre les mille difficultés de toute nature inhérentes à cette entreprise exceptionnelle; il a fallu aussi cette confiance sans borne qu'inspirait, à juste titre, sa parole entraînante, sa foi inébranlable dans le succès, que justifiaient les études sérieuses et approfondies auxquelles il s'était livré, avant de soumettre ses projets à l'approbation du gouvernement égyptien.

DESCRIPTION DES TRAVAUX.

Le canal maritime de Suez part de la ville de Port-Saïd, récemment créée sur les côtes de la Méditerranée, à 45 lieues d'Alexandrie et à 7 lieues environ de l'ancienne Péluze. On lui a donné ce nom, en souvenir de S. A. le vice-roi Mohammed-Saïd qui, en 1854, a signé le premier traité de concession du canal accordée à M. de Lesseps.

Le canal, formé d'un seul bief, communique librement à ses deux extrémités, Port-Saïd et Suez, avec les deux mers qu'il relie, et dont les niveaux moyens ne diffèrent pas sensiblement.

Dans la Méditerranée, la dénivellation produite par les marées est de $0^m,50$ environ; elle est de $2^m,32$ dans la mer Rouge; mais si l'on prend pour la cote du niveau moyen des eaux dans la Méditerranée $18^m,20$ on a $20^m,00$ pour la cote moyenne des marées hautes des vives-eaux dans la mer Rouge, et $17^m,68$ pour lacote des basses-mers moyennes des vives-eaux; ce qui donne une cote moyenne de $18^m,84$, soit une différence entre les niveaux moyens des deux mers de $0^m,64$.

Cette différence peut naturellement varier avec la direction et la violence des vents; mais l'expérience acquise jusqu'à ce jour, a permis de constater qu'elle ne sera

jamais assez grande, en raison surtout de la grande étendue des lacs amers, pour faire craindre qu'il s'établisse dans le canal des courants capables de provoquer des érosions nuisibles à la conservation des rives ou de gêner la navigation.

A sa sortie de Port-Saïd, le canal traverse d'abord le lac Menzaleh à son extrémité Est, puis le lac Ballah ; il en est séparé par des digues, dont la construction a présenté de sérieuses difficultés, au sujet desquelles nous donnerons quelques explications dans la suite de cette notice.

Au kilomètre 70, le canal franchit le seuil d'El-Guihsr dont la crête est à 18^{m} au-dessus du niveau moyen de la Méditerranée; il pénètre au kilomètre 75 dans le lac Timsah, qui a une longueur de 8 kilomètres et une profondeur de 6 mètres environ, en contre-bas du niveau moyen des eaux de la Méditerranée. Par son étendue et sa remarquable situation, ce lac était naturellement désigné pour devenir un port intérieur. C'est sur l'une de ses rives que l'on a construit la ville d'Ismaïlia.

Au kilomètre 90 et en-deçà des lacs amers, on rencontre le seuil du Séraphéum, élevé de 10 mètres au-dessus de la mer : le canal pénètre ensuite dans ces lacs qu'il suit, du kilomètre 96 au kilomètre 135; il franchit le seuil de Chalouf à la sortie des lacs, entre dans les lagunes de Suez au kilomètre 154 et débouche enfin, à 10 kilomètres plus loin dans le golfe de Suez et la mer Rouge.

L'étendue totale du canal maritime est de 164 kilomètres, et sa profondeur, sous la ligne de flottaison, est de 8 mètres au minimum.

La pl. XII ci-annexée indique la direction du canal et les points les plus importants des lieux qu'il traverse. Nous y avons fait figurer aussi les plans des villes et ports de Suez, d'Ismaïlia et de Port-Saïd (1).

(1) Ces derniers plans sont la reproduction de ceux qui se trouvent sur la carte de la basse Égypte, dressée par Desbuissons.

VILLE ET PORT DE PORT-SAID.

Ce port est précédé d'une belle rade où étaient mouillés, le 17 novembre 1869, un grand nombre de vaisseaux de guerre appartenant à diverses nations et envoyés à Port-Saïd, pour ajouter à l'éclat des fêtes d'inauguration du canal maritime. Un vaste avant-port, où les plus grands navires trouvent aujourd'hui un mouillage profond et un abri sûr, a été formé par deux jetées et empris tout entier sur la Méditerranée; de cet avant-port, un chenal conduit aux divers bassins de commerce creusés sur la rive occidentale, du côté de la ville, et à celui réservé particulièrement à la réparation des navires (1).

L'entrée du canal, établie immédiatement au-delà des bassins, a une ouverture de 160 mètres.

Les jetées qui servent à limiter l'avant-port ont été construites en pierre; elles s'avancent vers la pleine mer jusqu'à un point où l'on trouve une profondeur d'eau de 9 à 10 mètres. La jetée d'Ouest a une longueur de 2,500 mètres; celle de la jetée d'Est est de 1,900 mètres. La passe entre les deux jetées, à leur extrémité en mer, a une ouverture de 500 mètres environ.

Port-Saïd est donc tout à la fois un nouveau port ouvert au commerce sur les côtes d'Égypte, et la tête du canal maritime de Suez.

En prévision de l'importance commerciale que l'avenir réserve indubitablement à la ville de Port-Saïd, construite dans les lagunes de la Méditerranée, préalablement remblayées, tous les travaux indistinctement destinés à la création de cette ville, présentent un caractère de gran-

(1) La superficie de l'avant-port est de . . . . 172 hectares.
Id. des divers bassins de . . . . 48 id.
Les quais déjà existants présentent un développement de 4,520 mètres.

deur remarquable. Les rues et places projetées et, en partie, exécutées, sont spacieuses ; déjà, dans cette cité naissante, on compte un grand nombre d'habitations et une population évaluée à 6,000 habitants environ.

Les jetées sont destinées, non-seulement à abriter les navires, mais aussi à empêcher l'ensablement de l'avant-port qui a été généralement approfondi à la cote de 8 mètres au moins sous la basse mer. D'après les renseignements qui nous ont été donnés, elles sont formées d'un noyau en moëllons, recouvert de blocs de béton aggloméré, semblables à ceux employés dans plusieurs ports français de la Méditerranée et notamment à Marseille.

A l'époque de l'inauguration du canal, ces jetées n'étaient pas achevées ; elles s'élevaient à peine au-dessus du niveau des eaux de la Méditerranée ; mais nous devons supposer qu'il entre dans les prévisions des ingénieurs de les exhausser assez pour élever la plate-forme de ces jetées au-dessus des vagues. Elles garantiront mieux alors les navires pendant les tempêtes et serviront aussi de voies de circulation ou de halage, double condition qu'il est essentiel de remplir dans l'intérêt de la navigation.

ISMAILIA.

Cette ville, ainsi nommée en l'honneur d'Ismaïl-Pacha, vice-roi actuel d'Egypte, est distante de 140 kilomètres du Caire ; elle est assise sur les bords du lac Timsah, qui forme, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, l'un des plus beaux et des plus grands ports intérieurs connus.

Par l'heureuse situation qu'elle occupe, la ville d'Ismaïlia est destinée à devenir le principal entrepôt du commerce de la plus grande partie de l'Égypte avec les Indes, la Chine, le Japon, etc. Elle est déjà reliée aux principales

localités du pays, par les lignes de chemin de fer qui, d'Alexandrie et du Caire, se dirigent vers Suez, et l'on peut donc s'attendre à lui voir acquérir promptement une grande importance, comme port d'importation et d'exportation.

Ismaïlia comptait à l'époque de l'inauguration du canal, une population de 8,000 habitants environ, la plupart Européens : les rues, les places et les boulevards que l'on y a tracés, sont spacieux et en harmonie avec l'avenir brillant auquel cette ville est naturellement appelée.

Elle est la résidence d'un gouverneur : indépendamment du palais que S. A. le vice-roi y a fait construire, on y remarque aussi un grand nombre d'habitations élégantes, entourées de plantations et de fleurs, qui étonnent et charment d'autant plus le voyageur qu'avant d'arriver à Ismaïlia, il a traversé une grande étendue du désert.

VILLE ET PORT DE SUEZ.

Le nouveau port de Suez se trouve au fond du Golfe de ce nom, à l'extrémité de la mer Rouge, et à 3 kilomètres environ de la ville de Suez. On y a déjà construit plusieurs bassins et une cale sèche avec machine d'épuisement.

L'un de ces bassins est spécialement affecté aux paquebots des Indes ; le chemin de fer venant d'Alexandrie et du Caire s'arrête sous un hangar construit sur l'un des quais de ce bassin, ce qui permet le transbordement des voyageurs et des marchandises dans d'excellentes conditions d'économie et de célérité.

Tous les ouvrages projetés pour former, par leur ensemble, le port de Suez, n'étaient pas achevés à l'époque où nous y sommes allés ; mais nous nous plaisons à déclarer, à l'honneur des ingénieurs distingués qui les dirigent, que par les soins apportés dans l'exécution des travaux et par l'heureuse disposition adoptée dans les diverses installations, tous les ouvrages sont dignes d'être

mentionnés au nombre de ceux de cette nature recommandés particulièrement à l'attention des ingénieurs.

A l'entrée du port de Suez, la Compagnie a fait élever un monument à la mémoire du capitaine anglais Waghorn; on se rappellera que cet officier ne s'est pas borné seulement à signaler à son pays l'importance du passage de Suez, pour ses relations avec les Indes, mais qu'il a cherché à démontrer, par de fréquents voyages faits avant l'établissement des chemins de fer en Egypte, la possibilité de suivre utilement cette voie. On peut affirmer que, par sa persistance, il a largement contribué à l'exécution des travaux dont l'Egypte est actuellement dotée; le monument élevé à sa mémoire n'est donc qu'un hommage bien mérité rendu à ses services.

La pl. XIII fait connaître les divers profils en travers qui ont été adoptés pour la construction du canal maritime: leur examen constate que le canal doit avoir partout un mouillage minimum de 8^{m}00 et une largeur au plafond de 22 mètres : la largeur à la ligne de flottaison est de 100 mètres, hormis à la traversée des seuils, où elle est réduite à 56 mètres.

Dans les lacs amers, les eaux se sont répandues sur toute leur étendue et ont formé deux immenses bassins ayant chacun 20 kilomètres de longueur environ; la largeur du plus grand varie de 5 à 10 kilomètres, celle du plus petit n'est que de 3 kilomètres.

La profondeur de ces bassins étant très-variable et de moins de 8 mètres, on s'est borné à y creuser un chenal dont la direction est indiquée par des balises.

L'examen des profils admis pour la cunette du canal fait voir que la Direction, en les adoptant, a cherché à rendre aussi facile que possible l'élargissement de cette voie navigable lorsque l'utilité de ce travail se fera sentir.

Les bassins formés par les lacs amers avaient été avant l'exécution des travaux, alternativement submergés ou assé-

chés, comme le constatent les nombreuses couches de sel séparées par des dépôts terreux que l'on a trouvées au fond de ces lacs. A l'époque de la construction du canal, ils étaient entièrement desséchés, et conséquemment au nombre des difficultés rencontrées dans le cours de cette entreprise, il faut ajouter le remplissage de ces immenses bassins dont on évalue la capacité à plus de 1,500,000,000 mètres cubes et qui ont absorbé plus de 2,000,000,000 mètres cubes d'eau.

Indépendamment des lacs précités où les navires peuvent virer de bord, on a construit tout le long du canal et à des distances de 10 à 12 kilomètres des gares qui facilitent le stationnement et le croisement des navires.

C'est en 1854, sous le règne de Mohammed-Saïd-Pacha, que M. Ferdinand de Lesseps a soumis pour la première fois au gouvernement égyptien, le projet du canal maritime de Suez, et c'est en 1855, qu'il a obtenu du vice-roi la concession définitive de cette voie navigable.

Il n'a donc fallu à M. de Lesseps que 15 ans pour organiser la compagnie de Suez, faire l'étude complète et détaillée des plans de cette vaste entreprise et pour l'exécuter, dans des conditions telles, que déjà le 17 novembre 1869, les navires du plus grand tonnage pouvaient le traverser en toute sécurité.

Tous les travaux, il est vrai, n'étaient pas complétement terminés à la date précitée; mais ce qui prouve suffisamment quel était alors leur degré d'achèvement, c'est qu'à partir du jour de l'inauguration, cette voie de navigation a été empruntée par un grand nombre de navires transatlantiques faisant le commerce entre l'Europe et les Indes.

Avant d'approuver les projets présentés par M. de Lesseps, S. A. le vice-roi a voulu les soumettre à l'avis des ingénieurs européens, les plus compétents dans ces travaux : il a, en conséquence, réuni une commission internationale composée de :

MM. Renaud et Lieussen, désignés par le gouvernement français ;
Negreli, désigné par le gouvernement autrichien;
Conrad, désigné par le gouvernement des Pays-Bas;
Palescopa, désigné par le gouvernement du Piémont;
Rondel et Maccelau, désignés par le gouvernement anglais ;
Montesino désigné par le gouvernement espagnol.

A cette commission ont été adjoints MM. Jaures et Rigault de Genouilly, officiers de marine, désignés par le gouvernement français et M. Charles Mauby, désigné par le gouvernement anglais.

L'étude détaillée et l'exécution d'un projet de canal de 30 lieues de longueur, terminé à ses extrémités par deux ports de mer à créer, constituent toujours, dans leur ensemble, une œuvre entourée des difficultés les plus sérieuses; mais quand on songe que le canal maritime de Suez, entre les lagunes de la Méditerranée et de la Mer Rouge, traverse sur toute son étendue le désert d'Afrique et qu'il se trouve à 100 kilomètres environ des lieux habités, on est vivement frappé de la grandeur de la tâche accomplie par les ingénieurs, et l'on comprend seulement alors ce qu'il a fallu à M. de Lesseps, de volonté puissante de courage intelligent et de confiance dans le succès, pour concevoir et mener à bonne fin cette vaste entreprise.

Pour vaincre tous les obstacles que la Direction a rencontrés, il ne lui a pas suffi de faire appel à la classe ouvrière et de commander les puissants engins qui ont été mis en œuvre; mais il a dû se préoccuper avant tout de l'organisation des services de toute nature, chargés d'alimenter les nombreux chantiers ou campements à répartir, dès l'origine des travaux, le long du canal. Les services de santé, des hôpitaux et des pharmacies, ainsi que celui de l'intendance, ont dû particulièrement fixer l'attention de

la Direction, et, pour bien apprécier toute l'habileté qu'il a fallu pour les organiser dans des conditions convenables, n'oublions pas que tous les transports se faisaient à travers le désert, à dos de chevaux ou de chameaux, et que, jusqu'aux eaux douces, tout manquait sur les lieux.

Nonobstant toutes les difficultés inhérentes à cette gigantesque entreprise, l'impulsion donnée par la Direction a été si énergique qu'elle s'est trouvée bientôt en mesure d'occuper 26,000 ouvriers sur les travaux, de les loger et de les nourrir, de mettre à leur disposition le matériel nécessaire à l'exécution d'ouvrages de cette importance, et enfin, de leur donner les soins que pouvait réclamer une population ouvrière aussi nombreuse, exposée à tous les inconvénients d'un climat extraordinairement chaud et qui exigeait, au point de vue hygiénique, des précautions très grandes.

Les circonstances ont malheureusement prouvé que la Direction n'avait eu que trop raison de se préoccuper d'une bonne installation de ses services d'ambulance et d'hôpitaux, car, à peine les travaux étaient-ils commencés, que le choléra a éclaté et a fait de nombreuses victimes, malgré les soins dont les malades étaient entourés.

L'approvisionnement de l'eau douce nécessaire à l'alimentation de la population et des bêtes de somme employées aux travaux et aux transports, était un grave sujet de préoccupation pour la Direction ; il exigeait une dépense excessive et l'emploi de milliers de chameaux et chevaux (1) : Malgré toutes les mesures prises pour assurer cette alimentation, on avait toujours à craindre que

(1) On évalue la charge utile d'un chameau à 125 kilos, et le parcours moyen journalier qu'il peut faire à 30 kilomètres. La distance moyenne à franchir pour arriver aux divers chantiers était de 150 kilomètres environ. Si l'on admet seulement une consommation de 5 litres d'eau douce par individu, l'alimentation d'une population de 26,000 ouvriers exigeait à elle seule l'emploi de plus de 8,000 chameaux.

La dépense d'eau faite par homme et par jour était évaluée à fr. 0,40, soi pour 26,000 ouvriers, une dépense annuelle de 3,796,000 francs.

des circonstances atmosphériques ou autres, n'empêchassent l'arrivée en temps voulu des caravanes et vinssent compromettre une partie importante du service de l'intendance. Pour éviter cet inconvénient des plus sérieux et pour faciliter l'alimentation en eau douce des nombreuses machines à vapeur que l'on se proposait de mettre en usage, la direction a reconnu la nécessité d'amener directement sur les lieux et par un canal les eaux du Nil.

A cet effet, le canal qui alimente la ville de Zag-à-Zig, l'une des plus importantes et des plus industrieuses de l'Égypte, a été prolongé par la terre de Gessen jusqu'au lac Timsah, et de ce point jusqu'à Suez en longeant les lacs amers.

Ce nouveau canal a été un bienfait immense pour la population de Suez, car avant sa création, cette ville ne pouvait être alimentée d'eaux potables que par des caravanes qui transportaient celles du Nil dans des outres à travers le désert. A partir de ce moment, tous les campements compris entre le lac Timsah et Suez, ont été pourvus d'eau directement par le canal : entre le lac Timsah et Port-Saïd, on s'est borné à placer des conduites en fonte dans les digues du canal : elles ont suffi jusqu'à ce jour, avec le concours d'une machine hydraulique établie à Ismaïlia, à l'alimentation de la ville de Port-Saïd et de tous les chantiers organisés le long de la section du canal maritime comprise entre cette ville et le lac Timsah.

La prise d'eau de Zag-à-Zig n'ayant pas paru suffisante pour satisfaire à tous les besoins, la compagnie s'est décidée à creuser un nouveau canal qui prend directement les eaux du Nil à Boulac, près du Caire, et rejoint à Abbasieh le canal de Zag-à-Zig à Ismaïlia.

Ce nouveau canal est navigable sur tout son parcours du Nil jusqu'à Suez. On lui à donné une largeur au plafond de 8 mètres et de 17 mètres à a ligne de flottaison. Son mouillage est de 2 mètres.

Les cotes au plafond, rapportées au niveau moyen de la Méditerranée, sont :

à Boulac	10ᵐ00.
à Ismaïlia	3ᵐ86.
à Suez	1ᵐ48.

Des écluses à sas de 33 mètres de longueur entre les buscs, de 8 mètres de largeur entre les bajoyers et de 3 mètres de chute, rachètent les différences de niveau et relient le canal d'eau douce au canal maritime à Ismaïlia et à Suez.

La construction de ce canal d'alimentation a permis à la Compagnie d'obtenir un triple résultat : elle a fourni en abondance l'eau nécessaire aux villes de Port-Saïd, d'Ismaïlia et de Suez, ainsi qu'à tous les campements établis entre ces villes ; elle a facilité tous les transports du service de l'intendance et du matériel d'exécution des travaux ; elle a fourni les eaux nécessaires aux nombreuses machines à vapeur employées sur les travaux. Enfin les eaux de ce canal, qui ont des propriétés éminemment fertilisantes, pourront servir, au moyen d'irrigations, à convertir les rives du canal, qui sont formées d'un sable aride, en terrains aussi fertiles que toutes les autres parties de l'Égypte ; la Compagnie trouvera dans la fertilisation des terres riveraines le moyen de remédier en partie au vol du sable et d'empêcher la formation dans le canal maritime d'attérissements nuisibles à la marche des navires et qui seraient d'une extraction coûteuse.

Afin de pouvoir enlever rapidement le cube énorme de 75,000,000 mètres qui devaient être déblayés pour former la cunette du canal, la direction des travaux a fait usage de dragues puissantes de différents modèles. Elles ont été décrites dans plusieurs traités de construction, ce qui nous dispense d'entrer à ce sujet dans des détails. Mais pour la Compagnie, la difficulté ne consistait pas à obtenir

de la science des ingénieurs les projets des meilleurs engins, tant au point de vue de la facilité que de la rapidité du travail; elle existait dans le transport sur place de ces machines, dans leur alimentation et leur entretien en bon état. Il a fallu, sous ce rapport, de la part de la direction, un grand esprit de prévoyance, afin d'éviter dans l'emploi même de ces engins, tout ce qui aurait pu arrêter ou entraver l'exécution de travaux qu'il était essentiel de faire marcher avec régularité. On comprend en effet que dans des chantiers de cette importance tout se lie et lorsqu'un des éléments d'une organisation aussi vaste vient à faire défaut, le travail entier se trouvant suspendu, il en résulte un dommage d'autant plus grand que l'installation des services divers a donné lieu à des dépenses plus considérables.

Ce n'est qu'au seuil du Serapéum, que l'on a trouvé du roc dans les déblais, à 5 mètres sous la ligne de flottaison ; partout ailleurs, ils ont été faits dans le sable.

La plus grande partie des terres extraites a été mise en dépôt sur les rives du canal; il n'y a eu d'exception qu'à la traversée des lacs Menzaleh et de Ballah, où elles ont servi à former des digues, dont la construction a donné lieu à des difficultés très sérieuses, à cause de la nature très fluide du terrain dans lequel la cunette du canal était creusée, à la traversée de ces lacs; la fluidité de ce terrain était si grande, que la cunette se remplissait à mesure qu'on la déblayait, par la simple pression que le dépôt des terres destinées à former les digues exerçait sur le sol.

On n'est parvenu à établir ces digues qu'en battant plusieurs files de pilots et de palplanches jointives, travail qui, dans les conditions exceptionnelles où l'on se trouvait, a été particulièrement long et coûteux.

Le lac Timsah a été approfondi aussi, à 8 mètres sous la flottaison, sur une très-grande partie de son étendue;

quant aux lacs amers, on s'est borné, ainsi que nous l'avons déjà dit, à y creuser un chenal de 8 mètres également de profondeur.

D'après les comptes arrêtés au 31 décembre 1869, les dépenses de toute nature, tant pour travaux et matériel du canal que pour l'appropriation en terrains à bâtir des lagunes de la Méditerranée, notamment où la ville de Port-Saïd est assise, pour intérêts servis aux actionnaires et obligataires et pour frais d'administration, se sont élevés à la somme de. 422,807,822 58

La somme encore disponible à cette date, dont l'emploi était déjà prévu, montait à	20,836,742 22
Ce qui fait un total de	453,644,624 80
Mais, en cours d'exécution, des réalisations ont été effectuées jusqu'à concurrence de	153,644,624 80
Le passif réel de la Compagnie est donc de.	300,000,000 00

Dans le capital dépensé, sont compris le paiement des intérêts acquis aux actions et aux obligations, ainsi que l'amortissement de ces dernières; les sommes déboursées de ce chef seulement, s'élèvent à plus de 81,000,000 fr.

Le chapitre des frais généraux d'administration et des commissions est également très-élevé, puisqu'il est de plus de 26,000,000 francs.

Si nous donnons ces deux chiffres de dépense, c'est afin d'appeler l'attention sur leur importance et conséquemment, sur l'utilité d'y avoir égard dans les évaluations des grands travaux d'utilité publique.

Indépendamment du canal, la Compagnie possède des terrains dont elle estime la valeur à 100,000,000 francs; elle a conservé en outre la propriété d'une grande partie

du matériel qui a servi à l'exécution des travaux et notamment les puissantes dragues à vapeur, au nombre de 60, ainsi que les nombreux chalands ayant servi au transport des déblais.

Il est incontestable qu'il reste encore de nombreux travaux à exécuter pour achever, dans des conditions convenables, cette immense entreprise; mais lorsqu'on juge l'œuvre par les résultats obtenus à la date de l'inauguration du canal, que l'on a vu ce même jour des navires de très-grand tonnage et des vaisseaux de guerre pénétrer dans le canal, le parcourir sans obstacle dans toute son étendue, traverser le désert et passer, en moins de 24 heures, de la mer Méditerranée dans la mer Rouge, alors que précédemment ils auraient eu des milliers de lieues à parcourir, ne peut-on dire que le but proposé est suffisamment atteint. Quant à nous, nous ne balancerons pas à dire *oui*, et quels que soient les travaux qui restent encore à faire, les résultats déjà obtenus sont tels que nous répéterons après tant d'autres : honneur aux hommes supérieurs qui sont parvenus à réaliser cette œuvre gigantesque! Les faits ne peuvent manquer de sanctionner bientôt leur foi sincère dans le succès.

L'ouverture d'un canal maritime sur le sol africain et les grands sacrifices que le gouvernement égyptien, ainsi que le vice-roi se sont imposés pour en assurer l'exécution, caractérisent mieux que beaucoup d'autres travaux également importants, les tendances de ce siècle. Anciennement et même dans les pays les plus civilisés, les monarques n'étaient le plus souvent inspirés que par le seul sentiment de l'orgueil personnel, dans la conception des travaux dont ils décrétaient la construction; ils se bornaient à élever de ruineux monuments, comme on en voit tant encore parmi ceux que l'antiquité nous a légués et dont quelques-uns nous permettent de juger, jusqu'à quel degré pouvait aller la folie aveugle d'un despotisme tout puissant;

mais aujourd'hui, la grande préoccupation des souverains et des gouvernements a surtout pour objet de construire partout des travaux d'intérêt public, destinés à développer l'activité commerciale et industrielle des populations, à les rapprocher et à les faire participer en même temps aux progrès matériel et intellectuel des autres peuples.

C'est là un des caractères distinctifs de notre époque, dont l'esprit de positivisme n'exclut cependant pas tout sentiment de l'art ou des œuvres de génie.

L'Égypte a obéi à cette impulsion; elle ne s'est pas contentée d'élever ses magnifiques palais où l'Occident vient étaler avec orgueil toutes les richesses de l'art moderne; mais on la voit préluder à la construction du canal maritime de Suez par l'exécution d'un réseau complet de chemins de fer qui côtoyent partout ses pyramides ou ses antiques monuments, et par de grands travaux d'irrigation, au nombre desquels figurera toujours, comme une œuvre des plus remarquables, le barrage du Nil récemment construit.

Si l'on voulait apprécier dès aujourd'hui quels seront dans un avenir peu éloigné, les résultats, au point de vue politique et économique, que produira l'ouverture du canal maritime de Suez et quels en seront surtout les effets sur les relations établies entre les divers continents, il serait difficile, pensons-nous, de les préciser; mais on peut cependant affirmer qu'ils seront immenses comme l'œuvre qui les aura provoqués. Pour s'en convaincre, il suffit de se rappeler que les Indes, la Chine, le Japon, etc., sont, par la voie de Suez, de 3,000 lieues en moyenne plus rapprochés d'une grande partie du continent européen et que cette différence est plus grande encore pour tous les ports de la Méditerranée et de la mer Noire.

A ce premier résultat, d'une importance déjà si capitale, il faut ajouter que, depuis quelques années, les navires à voiles non-seulement ont reçu des améliorations

qui leur donnent une marche plus rapide, mais qu'il y a actuellement une tendance très prononcée à les transformer en navires mixtes par l'alliance de la vapeur et des voiles. Il n'est pas douteux que cette transformation ne soit rendue plus prompte encore par l'ouverture du canal de Suez, surtout pour les navires se rendant aux Indes, car la grande diminution des distances réduit considérablement les frais du combustible. On peut dont considérer le canal de Suez comme devant produire ce double bienfait pour le commerce, de raccourcir notablement les distances entre l'Occident et l'Orient et de rendre la marche des navires plus rapide et plus régulière, en hâtant leur transformation en navires mixtes à voiles et à vapeur.

L'influence que le canal de Suez doit exercer sur les relations établies entre l'Occident et l'Orient, préoccupe avec raison toutes les puissances de l'Europe; il doit nécessairement produire, dans un avenir prochain, une révolution commerciale très-marquée, et c'est sans doute pour ce motif que l'Angleterre, qui était restée en possession presqu'exclusive du commerce des Indes, a si longtemps combattu la création de cette nouvelle voie navigable.

Mieux éclairé aujourd'hui, le commerce de ce pays a compris que si le percement de l'isthme de Suez doit opérer un déplacement dans les relations de ceux qui se servaient de l'Angleterre comme intermédiaire, par contre, il offre aussi la compensation de rendre toutes les transactions plus faciles et conséquemment de les multiplier.

Une circonstance qui a contribué surtout à concentrer le commerce des Indes dans quelques-uns des principaux ports européens, c'est que, pour l'exercer, il fallait de très-grands capitaux qui restaient immobilisés pendant le grand nombre de mois que duraient les voyages; cette longue immobilisation a cessé d'exister particulièrement pour les ports de la Méditerranée; on doit donc s'attendre à voir s'établir bientôt des relations directes entre

ces ports et ceux des Indes, par la voie du canal de Suez.

Plusieurs faits, que nous avons recueillis, sont déjà venus confirmer cette opinion.

Entre Bombay et Constantinople, il n'existait pas de navigation par bateaux à vapeur et les rares navires à voiles, qui des Indes se rendaient directement en Turquie, en doublant le cap de Bonne-Espérance, employaient généralement quatre à cinq mois pour faire ce voyage.

Depuis que le passage par Suez est ouvert, on a établi un service de bateaux à vapeur qui mettent 25 jours pour aller de Bombay à Constantinople.

Le port d'Odessa ne s'alimentait des produits des Indes qu'à Marseille, ou dans les ports de l'Angleterre; tandis que maintenant on y a également organisé un service direct par bateaux à vapeur vers les Indes empruntant la voie de Suez.

Ces exemples suffisent pour démontrer que si tous les ports principaux de la Méditerranée ou de l'Adriatique, ne sont pas encore en possession de pareils services, ils ne peuvent tarder à l'être.

A ce premier résultat, nous devons ajouter une circonstance qui aura sans doute aussi, dans l'avenir, une certaine influence sur la navigation. Les rives de la mer Rouge, celles d'Afrique comme celles d'Asie, n'ont été, jusqu'à ce jour, que faiblement explorées par le commerce européen, parce qu'elles sont trop éloignées de la voie suivie habituellement par les navires. Comme elles se trouvent dans la direction nouvelle qu'ils prendront à l'avenir, il est probable que l'on verra bientôt s'y former des comptoirs qui établiront des rapports réguliers et actifs avec les populations de ces rives.

L'ouverture du canal maritime de Suez n'est pas le seul fait qui produira dans un avenir prochain un grand changement dans les relations commerciales entre l'Orient et l'Occident : il y a d'autres travaux, également importants,

qui viendront bientôt compléter la révolution que nous prévoyons : ce sont les grandes lignes de chemins de fer existant ou en cours d'exécution entre le Nord et le Midi de l'Europe, et qui doivent naturellement provoquer un changement notable dans la direction du courant des affaires.

Nous voyons déjà le Nord de l'Europe relié à plusieurs ports de la Méditerranée ou de l'Adriatique, et il ne tardera pas à l'être à tous les autres.

Il est rattaché au port de Marseille, par le réseau de voies ferrées qui partent du Nord de l'Allemagne, de la Hollande, de la Belgique et de la France, et aboutissent à cette ville ; il ne tardera pas à l'être au port de Gênes, par la ligne qui traverse le Mont Cenis, dont le percement, autre œuvre également gigantesque, sera bientôt achevé.

Les lignes de chemin de fer passant par le Brenner débouchent dans les ports de Venise, Livourne, Civita-Vecchia, Naples et Brindisi.

Vienne et l'empire d'Autriche sont relié au port de Trieste par la ligne de chemin de fer du Sommering.

Dans la Turquie d'Europe, on exéute en ce moment un réseau de 2,500 kil. de chemins de fer, qui partent des frontières de la Bosnie, où ils sont rattachés au réseau Autrichien ainsi qu'au réseau Hongrois, et se dirigent vers les ports de Constantinople, d'Enos et de Salonique.

Enfin, la Russie a fait aboutir ses lignes de chemin de fer au port d'Odessa, ce qui la met en relation directe avec la Méditerranée.

A cet ensemble de lignes, il convient d'ajouter les études ordonnées par le gouvernement italien, de concert avec la Suisse, concernant le chemin de fer projeté à travers les Alpes par le St-Gothard (1).

(1) Nous venons d'apprendre, que la construction de ce chemin de fer est décidée et que les travaux seront très prochainement entrepris.

La publication de ces études faite récemment, constate combien est grande la préoccupation que cause à ces deux gouvernements le désir de faire profiter le plus possible leurs pays de la nouvelle situation que le canal de Suez crée au commerce de l'Europe.

Le percement de l'isthme de Suez est donc non-seulement par lui-même une œuvre remarquable, pleine d'avenir, et qui sera à tout jamais un des principaux titres de gloire du gouvernement Égyptien, ainsi que des hommes distingués qui ont aidé à la réalisation de cette vaste entreprise ; mais, combiné avec les nombreuses lignes de chemins de fer construites ou en voie d'exécution en Europe, il doit nécessairement produire des modifications profondes dans les relations commerciales.

Ce sont là des révolutions dont le monde ne peut que se féliciter, car elles ont pour unique résultat d'améliorer le bien-être moral et matériel des nations.

Espérons que les chemins de fer, qui constituent un moyen de civilisation très puissant, n'auront bientôt plus d'autre mission à remplir que de rapprocher les peuples, de maintenir entre eux des relations d'amitié, de n'entretenir que des luttes de progrès intellectuel et social, et de réaliser ainsi le programme de paix que se proposent tous les amis de l'humanité.

F. W.

1er mai 1871.

MÉLANGES.

VIII. — Chemins de fer. — Construction de voies entièrement en fer.

Le système de construction des voies de chemin de fer, avec billes en bois, présente plusieurs inconvénients qui ont été signalés depuis longtemps à la sérieuse attention du gouvernement. Il exige une grande dépense d'entretien pour le maintien de la voie dans son profil régulier et, en outre, le renouvellement des bois à des époques, d'autant plus rapprochées, que la nature du climat et du sol se prête davantage à une détérioration plus prompte des billes.

Ces inconvénients préoccupent à un double titre le gouvernement belge : il s'agit non-seulement, pour la Belgique, de chercher à diminuer, autant que possible, les frais d'entretien des 1,500 kilomètres — qui seront portés avant peu d'années à plus de 2,000 — de voies ferrées compris actuellement dans le réseau exploité et entretenu aux frais de l'État, mais il est aussi de l'intérêt du pays, de substituer les produits d'une de ses principales industries à des bois étrangers.

Cette dernière considération présente un degré de gravité qu'il ne faut pas se dissimuler. Personne n'ignore, en effet, que l'industrie belge et, notamment la métallurgie, produit beaucoup plus que ne réclament les besoins de la consommation intérieure et qu'elle ne peut conserver toute sa prospérité qu'en alimentant

des marchés étrangers. En voyant s'élever partout dans les pays voisins des établissements similaires aux nôtres et principalement des grandes fabriques de fer et de machines, ne peut-on pas craindre qu'un jour cette exploitation, si elle n'est pas rendue impossible, ne soit, dans tous les cas, restreinte dans une proportion telle que les intérêts belges en souffriront beaucoup.

Il nous paraît donc éminemment utile, de chercher à multiplier à l'intérieur du pays l'emploi des produits belges et surtout de ceux qui sont destinés à remplacer des produits étrangers, comme c'est le cas pour les billes en chêne et en sapin ainsi que pour les coins en chêne, qui, généralement, nous arrivent du nord de l'Allemagne ou de la France.

Plusieurs essais ont déjà été tentés dans le but de substituer le fer au bois ; ils ne paraissent pas, d'après les rapports des ingénieurs de l'État, avoir donné jusqu'à ce jour des résultats tout-à-fait satisfaisants, au double point de vue de la bonne construction et des frais d'entretien. Mais comme nous savons qu'il entre dans les intentions bien formelles du gouvernement d'encourager les travaux que nos industriels font pour arriver à une combinaison qui puisse être approuvée, nous avons pensé qu'il serait utile de faire connaître les expériencees tentées dans le même but en Allemagne par M. l'ingénieur en chef Hilf.

Cet ingénieur en chef, à la suite d'un premier essai fait du système qu'il a proposé, a été autorisé à l'employer pour l'établissement de la seconde voie entre Oberlahnstein et Ems, du chemin de fer du Nassau, sur une longueur de 14 kilomètres et les résultats ont été si satisfaisants qu'il a été appliqué depuis à plus de 100 kilomètres de voies ferrées.

La description du système de M. Hilf a été donnée dans une note en langue allemande, dont nous croyons utile de publier ci-après la traduction.

NOTE DESCRIPTIVE DU SYSTÈME DE VOIES FERRÉES DE M. HILF,

INGÉNIEUR EN CHEF, CONSEILLER DU GOUVERNEMENT.

« Les avantages d'une voie, entièrement en fer, comparée à une voie avec traverses en bois comme supports des rails ont déjà été discutés bien des fois. Il s'agit de savoir :

Quelle construction de voie en fer peut remplir le but le plus convenablement ?

Pour résoudre ce problème les points essentiels sont :

A. Simplicité, solidité et bon marché de la construction;

B. Le moins de frais possible pour le remplacement du matériel usable et

C. Une construction qui permette d'obtenir la plus grande réduction possible dans la dépense des travaux d'entretien.

Ces trois conditions principales ne s'étant pas accomplies simultanément, il se peut que toute construction, aussi simple et peu coûteuse qu'elle soit, n'atteigne pas le but relativement aux frais d'entretien.

Le système que nous proposons nous paraît remplir ces trois conditions, attendu qu'il se compose dans ses principales parties du rail, de la longrine et des tringles.

(1) CONDITIONS POUR LE RAIL.

a) Il faut que le rail contienne le moins de matière possible, pour qu'il ne soit pas lourd et puisse être fourni à bon compte.

C'est justement pour le rail qui est, pour ainsi dire, la seule partie usable du système, que l'emploi de la moindre quantité de matière est de grande importance : il permet de choisir la matière la plus durable quoique la plus coûteuse.

b) Le rail doit être facile à laminer et pour les joints de rails il faut choisir un assemblage d'éclisses solide et convenablement construit, car c'est cet assemblage qui ménage le plus les têtes du rail et fait que le matériel roulant reçoit le moins de secousses.

c) L'assemblage du rail avec la longrine doit être simple et solide et à l'échange d'un rail la longrine doit rester en place sans être bougée.

(2) CONDITIONS POUR LA LONGRINE.

a) La longrine, assemblée avec le rail, doit posséder une stabilité suffisante pour pouvoir porter sûrement et d'une manière constante toute charge et la longrine doit répartir la charge sur une grande surface.

b) La longrine doit être composée d'une seule pièce facile à laminer et d'une forme qui offre aussi bien un soutien ferme au ballast, qu'elle s'oppose à un déplacement latéral de la longrine.

(3) CONDITIONS POUR LES TRINGLES.

a) Les tringles doivent être simplement construites et doivent être faciles à enlever et à remettre au remplacement d'un rail.

b) On doit obtenir par les tringles, le maintien parfaitement assuré de l'écartement aussi bien en ligne droite qu'en courbe. Néanmoins, l'écartement doit pouvoir être régularisé.

En examinant les dessins ci-joints (pl. XIV) du système de voie proposé, on reconnaîtra qu'il répond aux conditions exposées ci-dessus.

EXPLICATION

(1) DU RAIL.

On a choisi un rail à large base dont les faces, sous le bourrelet, sont coupées droites, ce qui permet un assemblage solide d'éclisses. Le poids du rail est de $25^{k}4$ par mètre courant, donc 33 °/₀ de moins que le rail ordinaire.

L'assemblage au moyen d'éclisses, reconnu le plus convenable, a été conservé pour que les têtes du rail et le rail lui-même, restent en bon état le plus longtemps possible, et que l'usure du matériel soit réduite autant que possible. Cet assemblage des éclisses est en outre fortifié par la manière de fixer les rails sur la longrine; il en résulte un second assemblage au pied du rail où la longrine elle-même sert d'éclisse et contribue essentiellement à la solidité de l'ensemble de la voie.

Par ce système d'assemblage, le matériel roulant sera plus ménagé, la sécurité deviendra plus grande et ainsi les conditions principales pour l'exploitation des chemins de fer relativement à la sécurité et à l'économie seront accomplies.

Le rail est d'une longueur de 6 mètres, et, pour les courbes, en partie de $5^{m}90$.

Deux entailles au pied et au milieu du rail ont pour but d'empêcher le glissement dans le sens de la longueur.

L'assemblage du rail avec la longrine se fait par 18 boulons : ils pèsent avec les petites plaques 10k6.

En ce qui concerne l'assemblage en lui-même, il est effectué de la manière la plus solide. Quand même quelques écrous viendraient à se déserrer, ce qui est presque impossible, cela n'aurait aucune influence préjudiciable.

L'usure de ces boulons, par exemple dans de fortes courbes, par la pression latérale du rail contre les pas des boulons n'est pas à craindre, puisque par l'assemblage des tringles, le rail correspondant avec ses accessoires aidera à diminuer cette pression des rails extérieurs contre les pas des boulons.

Pour les voies des courbes, les trous pour les boulons sont forés dans les longrines d'après le rayon correspondant.

Pour les courbes de 300 à 2000 mètres de rayon, il suffit d'avoir 5 différents gabarits, sur lesquels l'emplacement des trous sera indiqué, savoir :

Pour les rayons de	300 à 360	mètres,	un rayon de	330 mèt.
»	360 à 500	»	»	420 »
»	500 à 700	»	»	600 »
»	700 à 1000	»	»	850 »
»	1000 à 2000	»	»	1500 »

Les petites irrégularités qui pourraient survenir et qui ne sont pas même de 0m0015 au centre de la flèche d'un rail, seront imperceptibles; mais, il va de soi, qu'en posant la voie, on donne aux joints la direction exacte du rayon de la courbe.

On obtient de cette manière une forme de rail parfaitement courbée et stable et, par la longrine fixe s'opposant à tout déplacement latéral, une voie courbe inébranlable qui reste même intacte, lorsqu'on remplace un rail en maintenant la longrine à demeure fixe.

Un autre avantage est que le rail, avant son placement, n'a pas besoin d'être courbé, la juste direction lui étant donnée par la disposition des boulons; lorsqu'on remplace un rail les pas des boulons restent dans les longrines et par le jeu qui leur est laissé dans les trous de la longrine, la mise en place du rail se fait sans peine.

Un rail de courbe dont le bourrelet intérieur a souffert, peut, de cette manière, facilement être retourné sur la même longrine, de

sorte que le rail reçoit une courbure opposée sans qu'une flexion préparatoire ait été nécessaire.

(2) DE LA LONGRINE.

Comme cela a été prouvé par l'expérience, les longrines sont faciles à laminer d'après le modèle ci-indiqué. Elles reçoivent toutes la même longueur de 5^m86. Le mètre courant de la longrine pèse 33^k10.

La résistance de la longrine assemblée au rail, (ce dernier d'un fer à grains fins) est d'environ 18,000 kil. sur un mètre de longueur posé à faux. D'après les expériences faites, la voie porte cette charge au centre de gravité sans dépasser la limite admise de l'élasticité.

Il existe donc à cet égard une résistance suffisante, sans tenir compte que la charge se répartit aussi bien en longueur qu'en largeur sur une grande surface. La surface inférieure par mètre courant de longrine est de 0^m30.

En ce qui concerne la forme de la longrine, elle a à sa base deux parties creuses qui facilitent de beaucoup un bourrage solide et serré du ballast. Le glissement du ballast est donc rendu impossible ; au contraire, par la pression, le ballast se trouve comprimé et forme un corps compact. En même temps la forme donnée au profil transversal s'oppose fortement à tout glissement latéral de la longrine. Ces qualités donnent à la longrine une valeur d'autant plus réelle que, par là, les travaux d'entretien de la voie sont réduits à la plus simple expression et remplissent une des conditions essentielles que l'on doit exiger de l'établissement rationnel de la voie.

L'épaisseur de 9 millimètres du fer de la longrine permet d'admettre qu'il faudra une longue suite d'années avant que son remplacement devienne nécessaire, surtout que par le mouvement des trains l'oxidation du fer est presque nulle.

(3) DES TRINGLES TRANSVERSALES.

Sur une longueur de voie de 6 mètres, tant en ligne droite qu'en courbe, on a admis trois tringles. Elles ont toutes une longueur uniforme de 1^m68 et pèsent ensemble, y compris les petites plaques et les écrous, $24^{kos}18$.

Les petites plaques font que, d'une part, les écrous s'adaptent

parfaitement et, d'autre part, que les rails sont maintenus dans leur inclinaison.

Par la solidité de la pose de la longrine, la force aussi bien que le nombre des tringles sont plus que suffisantes, même dans les fortes courbes.

Les doubles écrous ne sont pas absolument nécessaires, néanmoins on peut en mettre dans de très-fortes courbes. Pour le remplacement d'un rail, les tringles sont faciles à enlever et à replacer.

On obtient également par ces tringles un avantage important en ce que l'on peut régler d'une manière simple l'écartement prescrit dans les courbes. Il faut seulement avoir soin que ces ringles ne reposent pas trop sur le ballast, ce qui peut facilement être évité.

Poids et coût des rails, des longrines et des tringles par mètre courant de voie.

Le poids est :

	Kilog.
1. Deux rails de 6 mètres de longueur à 25k4 par mètre courant	305.00
2. Deux longrines de 5m.86 de longueur à 33k10 par mètre courant	388.00
3. 33 boulons et plaques pour fixer les rails aux longrines.	21.19
4. 3 tringles avec 12 plaques-cales et 18 écrous .	24.18
5. 2 paires d'éclisses avec 8 boulons pour assembler les bouts des rails	20.03
Poids pour 6 mètres de voie.	758.40
Ou par mètre courant de voie	126.40

Les frais de construction de la voie prête à être livrée à l'exploitation, c'est-à-dire l'achat et le transport des matériaux, le montage, la pose et le bourrage des longrines, mais non compris le ballast, s'élèvent à th. 8.24 = fr. 33.00, par mètre courant, en prenant pour base les prix payés actuellement, (mois de mai 1868), sur le chemin de fer du Nassau.

En ce qui concerne la pose de la voie en fer sur une ligne, elle

sera facilitée de beaucoup si les rails sont fixés d'avance sur les longrines, soit à l'usine même ou à l'endroit où le percement des longrines a lieu. C'est principalement utile pour le pose des voies dans les courbes.

Le bourrage des longrines ainsi que le réglement de la voie peuvent alors être faits, avec une dépense des plus minimes et de la manière la plus complète.

Il est donc démontré que les parties principales composant le présent système binôme de voie, répondent au but; que surtout la construction, en général, remplit les conditions fondamentales; qu'elle est simple, solide et peu coûteuse; que le matériel susceptible d'usure n'exige pas de remplacements importants et que les travaux d'entretien sont réduits au plus bas prix possible.

On ne peut assez apprécier ce dernier avantage, car il est généralement connu que l'entretien des voies absorbe une grande partie des frais d'exploitation.

Pour adopter un système de voies en fer celui seul qui, à côté d'une solidité suffisante et d'un prix peu coûteux, exige le moins de frais d'entretien, mérite d'être pris en considération.

Dans la gare d'Assmannhausen, du chemin de fer du Nassau, on a exécuté au mois d'avril 1867, une voie de 450 mètres de longueur d'après les dispositions générales du dessin (pl. XIV); mais les joints des rails se trouvaient sur les joints des longrines. Pour l'assemblage du rail avec la longrine on a employé des rivets au lieu de boulons et on s'est servi des rails ordinaires de la voie existante. Cette voie se trouve sur une longueur de 348 mètres, en courbe de 450 et de 600 mètres de rayon, et il y passe journellement huit trains. Jusqu'ici aucun rivet ni boulon ne s'est détaché et la voie, restée intacte, se trouve encore comme elle a été établie.

Les longrines sont couvertes de ballast jusqu'au bourrelet du rail. Cette couche de gravier qui, à la surface a formé une croûte dure, ne laisse voir aucune crevasse ni un mouvement quelconque au moment du passage des trains, et fournit la preuve que les longrines sont solidement assises.

Le roulement est doux sur le rail et principalement aux joints. Aucune influence de la température sur la stabilité de la voie n'a été remarquée et bien que le drainage soit insuffisant à cet endroit,

ni l'humidité ni le froid (qui fut de 15°*R*) n'ont eu d'action sur les longrines.

Par suite de ces résultats favorables, on s'est décidé à employer le système dont il s'agit pour la seconde voie entre Oberlanstein et Ems, du chemin de fer du Nasssu, sur une longueur de 14 kilomètres environ.

Cette ligne a été choisie pour un essai plus grand à cause des courbes de 300 mètres de rayon que l'on y rencontre.

Pour cette partie qui est achevée maintenant, on a employé le joint flottant sur la plus grande longueur aussi bien en ligne droite que dans les courbes : mais l'expérience a fait reconnaître qu'il était préférable de placer les joints des rails de manière à ce qu'ils ne se trouvent pas au-dessus des joints des longrines. (Voir la planche XIV).

Les essais faits sur cette voie ont eu les résultats les plus satisfaisants. Le roulement est plus doux et moins bruyant que sur une voie à traverses en bois et la voie ne saurait bouger. Même en enlevant les tringles et en passant sur la voie à grande vitesse les rails et longrines sont restés intacts en place. C'est pourquoi en ligne droite on pourra sans inconvénient réduire le nombre des tringles à 2 par rail si la pose solide des longrines peut empêcher tout changement dans l'écartement. Pour de nouvelles lignes où les remblais n'ont pas encore tassé complétement, il est utile de placer 3 tringles par rail en ligne droite aussi.

Si au commencement le joint flottant semblait préférable pour obtenir un roulement doux, on a reconnu par l'expérience qu'il ne l'est pas moins lorsque le joint du rail repose sur la longrine.

Le joint du rail reposant sur la longrine a encore l'avantage que les bouts des rails reçoivent, outre l'assemblage des éclisses, un second assemblage à leur pied dans lequel la longrine sert pour ainsi dire d'éclisse.

La construction de la voie d'après le présent système peut être facilement établie sur les lignes où l'on s'est servi de rails à large base. Au lieu de remplacer les traverses défectueuses par d'autres en bois, on les remplace par les longrines en fer et les rails existant peuvent être conservés jusqu'à usure complète. Si plus tard on veut introduire un rail plus léger, on n'a qu'à prendre soin de

faire correspondre la forme et la largeur du pied du rail avec le percement de la longrine.

On peut également et favorablement employer les longrines en fer pour chargements et croisements, et laminées sur la longueur voulue elles remplacent les traverses en bois. Dans ce cas, on recommande de conserver le système d'assemblage par boulons et de se servir de rails en acier. »

Nous regrettons que dans cette note, l'auteur n'ait pas établi une comparaison raisonnée entre les frais de premier établissement et ceux d'entretien des voies établies d'après son système ou avec des billes en bois ; mais il est présumable que l'expérience faite ne lui avait pas paru avoir une durée assez longue pour donner une solution satisfaisante à ces deux points du problème. Ce sont là des renseignements complémentaires que M. Hilf sera sans doute à même de donner aujourd'hui aux ingénieurs qui seront chargés de suivre les expériences qu'il a été autorisé à faire sur une échelle assez grande pour pouvoir apprécier les principaux résultats de son système de construction.

En proposant de donner plus de publicité à cette note et en demandant son insertion dans les *Annales des travaux publics*, nous avons été surtout guidés par la pensée de signaler comme une chose éminemment utile à l'industrie métallurgique belge, la substitution du fer au bois comme supports des rails et nous sommes convaincus que l'ingénieur qui donnera à ce problème une solution satisfaisante aura rendu un service signalé à son pays et à l'une de ses industries les plus importantes.

F. W.

10 mai 1871.

IX. — Résumé du compte rendu des opérations des chemins de fer de l'État, pendant l'exercice 1868.

A. — *Développement des lignes.*

Au 31 décembre 1868, les chemins de fer en exploitation sur le territoire de la Belgique avaient un développement de 2,730,000

mètres, supérieur de 132,401 mètres à celui de l'année précédente.

Ces 132,401 mètres se répartissent entre les lignes Fleurus-Tamines, Audenarde-Courtrai et Dixmude-Nieuport, Frameries-Bonne-Espérance et Piéton-Leval, Ostende-Thourout et Roulers-Ypres, Blankenberghe-Heyst.

La longueur totale exploitée par l'État en 1868, a été de 862,666 mètres. Cette longueur est la même qu'en 1867.

B. — *Voies principales et voies accessoires.*

A la fin de 1868, le développement des voies *principales* atteignait 1,704,382 mètres. Les voies *accessoires* dont la longueur était de 440,330 mètres représentaient environ 25,83 p. °/₀ du développement des voies principales.

C. — *Rails.*

Des rails forts ont été substitués en 1868 comme en 1867, aux rails faibles. A la fin de l'année, il ne restait plus que 5,285 mètres de rails faibles dans les voies principales et 135,077 mètres dans les voies accessoires. On entend par rails faibles ceux dont le poids est inférieur à 34 kilog. par mètre courant.

1,891,750^{m},54 étaient éclissés à la fin de 1868.

D. — *Billes.*

Le prix moyen des billes a été, en 1868, de fr. 5,49 pour les billes en chêne non préparées et de fr. 3,43 pour les billes en sapin préparées d'après le système Bethel. Le premier de ces prix est inférieur de fr. 0,04, au prix correspondant de 1867 ; le second reste de fr. 0,72 au-dessus de celui de 1867.

E. — *Dépenses de premier établissement.*

A la fin de 1867, il avait été prélevé sur les allocations votées, une somme de fr. 252,411,568 58, se répartissant ainsi :

1° Lignes déjà livrées à l'exploitation.	fr.	241,353,127 95
2° Lignes et voies en construction : raccordement des stations des Guillemins et de Vivegnis, à Liége; chemin de ceinture à Gand; raccordement de la station d'Ostende au nouveau quai des bateaux à vapeur; raccordement des stations du Nord et du Midi, à Bruxelles; installations en vue du service des établissements maritimes d'Anvers; mobilier, matériel et outillage de la ligne de Braine-le-Comte à Gand; construction de la ligne de Bruxelles à Châtelineau.		8,031,214 82
3° Parachèvement et amélioration de lignes construites par des compagnies et exploitées par l'État y compris celle de Saint-Trond-Hasselt.		2,309,321 61
4° Frais d'exploitation (exercices 1835 et 1836).		700,979 38
5° Sommes restées sans emploi et ayant fait retour au trésor, etc. .		16,924 82
Total.	fr.	252,411,568 58

Des crédits ouverts s'élevant à la somme de fr. 272,896,349 24, il restait, au 31 décembre 1865, un excédant disponible, engagé dans des travaux projetés ou entamés, s'élevant à la somme de fr. 20,484,780 66.

La dépense occasionnée par les lignes construites par l'État et déjà livrées à l'exploitation se répartit, par kilomètre, de la manière suivante :

Route proprement dite.	fr.	236,424 43
Bâtiments et dépendances des stations.		67,763 64
Dépenses générales		8,665 58
Matériel de traction et des transports.		96,795 19
Ensemble.	fr.	409,648 84

F. — *Recettes et dépenses en* 1868.

Les produits directs de l'exploitation pendant l'année 1868, se sont élevés :

Pour la part de l'État, à.	fr.	38,181,039 30
Pour la part de la Compagnie de Tournai à Jurbise, à.		1,726,992 13
Pour la part de la Compagnie de Tournai à Lille et Hal à Ath		475,428 68
Pour la part de la Compagnie de Braine-le-Comte à Gand		568,831 22
Total.	fr.	41,852,330 98
La dépense effective de l'exploitation a été de	fr.	24,754,067 66
Et par conséquent l'excédant de la recette s'est élevé à.	fr.	17,098,263 32

L'augmentation de la recette nette relativement à l'année 1867 est de fr. 1,389,617 95.

La dépense d'exploitation a représenté en 1868 les 59,15 p. °/₀ de la recette brute.

Le rapport avait été de 57,20 p. °/₀ en 1866 et 60,73 p. °/₀ en 1867.

Pour 1868, le kilomètre de route donne :

En recette brute	fr.	48,515 10
En dépense		28,694 84
En recette nette	fr.	19,820 26

G. — *Locomotives.*

Le nombre des locomotives a été, en 1868, de 378, inférieur de 6 à celui de l'année précédente. La force moyenne de ces locomotives était de 144,5 chevaux vapeur ; la moyenne correspondante était de 140,79 chevaux en 1867.

Le parcours total des locomotives (remorque de trains, manœuvres etc.) a été de 11,901,307 kilomètres en 1868.

En 1868, la recette brute, la dépense et la recette nette par locomotive-kilomètre se sont respectivement élevées à :

Recette brute	fr.	4,36713
Dépense		2,58299
Recette nette	fr.	1,78414

H. — *Matériel des transports.*

Le nombre des voitures a diminué en 1868 de 316 voitures, ce qui porte le chiffre des voitures à 11,440. Ces voitures ont fourni un parcours de 144,215,012 kilomètres, sur les lignes de l'État.

I. — *Mouvement, recettes, dépenses.*

Les mouvements et les recettes de 1868, sont mis en regard de ceux de 1867 dans le tableau suivant :

NATURE des TRANSPORTS.	QUANTITÉS TRANSPORTÉES		PRODUIT	
	EN 1867.	EN 1868.	EN 1867.	EN 1868.
			FR. C.	FR. C.
Voyageurs . . Nombre.	12,616,961	12,824,334	15,043,407 »	15,239,140 76
Bagages. Colis taxés au minimum.	137,559	128,823	628,746 03	640,300 14
Bagages. Colis taxés au poids. qx.	123,209	141,333		
Petits paquets et petites marchandises . Kilogr.	131,753,067	142,646,718	2,872,267 85	3,335,877 43
Grosses marchandises . . Tonnes.	6,529,311	6,645,281	19,566,664 10	20,538,401 77
Finances . . . Groups.	836,979	949,620	217,874 40	267,445 13
Équipages . . Nombre.	267	314	11,741 60	14,896 14
Chevaux et bestiaux. . . . . Expédit.	24,390	29,537	494,813 37	520,816 63
Produits extraordinaires.	. . . . . .	. . . . . .	1,166,178 60	1,275,452 98
		Totaux.	40,001,392 95	41,852,330 98
		Augmentation.	1,850,938 03	

Les dépenses de 1868 et celles de 1867 donnent le tableau suivant :

NATURE de la DÉPENSE.	DÉPENSES	
	1867.	1868.
	Francs.	Francs.
Voies et travaux.	6,454,310 00	6,173,860 84
Traction et matériel	10,521,800 00	11,253,169 32
Transports	6,766,855 71	6,746,447 42
Services en général	625,006 98	620,858 99
Régie	32,143 89	32,627 79
Totaux. . .	24,400,116 58	24,826,964 36
Augmentation . .	426,847 78	

Les recettes et les dépenses se répartissent d'ailleurs comme suit par kilomètre exploité, locomotive-kilomètre, voiture-kilomètre et convoi-kilomètre.

Recette brute.

NATURE DE LA RECETTE.	Par kilomètre exploité.	Par locomotive-kilomètre.	Par voiture-kilomètre.	Par convoi-kilomètre.
Voyageurs. . . . . fr.	17,664. 35	1.59007	0.12267	1.64759
Bagages	742. 28	0.06682	0.00515	0 06924
Petits paquets, petites march.	3,890.91	0.35024	0.02702	0.36291
Grosses marchandises	23,806.36	2.14295	0 16532	2.22047
Finances	310.50	0.02795	0.00216	0.02896
Équipages	19 40	0.00175	0 00013	0.00181
Chevaux et bestiaux	601.59	0.05415	0.00418	0 05611
Produits extraordinaires. . .	1,479.71	0.13320	0.01028	0.13802
Totaux. . . . fr.	46,515.10	4.36713	0 33691	4 52511

Dépenses.

NATURE DE LA DÉPENSE.	Par kilomètre exploité.	Par locomotive-kilomètre.	Par voiture-kilomètre.	Par convoi-kilomètre.
Voies et travaux . . . . . fr.	7,136.41	0.64239	0.04956	0.66563
Traction et matériel	13,004.50	1.17061	0 09031	1.21296
Transports	7,799.26	0.70206	0.05416	0.72745
Services en général	717.37	0.06457	0.00498	0.06691
Régie.	37 30	0.00336	0.00026	0.00348
Totaux. . . . fr.	28,694.84	2.58299	0.19927	2.67643

Recette nette.

ANNÉE.	Par kilomètre exploité.	Par locomotive-kilomètre.	Par voiture-kilomètre.	Par convoi-kilomètre.
1868 . . . . fr.	19,820 26	1.78414	0.13764	1.84868

K. — *Combustible.*

La consommation de combustible a été en 1868, de fr. 1,695,125 84, ce qui accuse une diminution de 528,049 fr. 21 c. par rapport à la consommation de 1867.

Les quantités de combustible consommées par le *chauffage des locomotives,* y compris l'alimentation de la machine fixe du Haut-Pré en 1867 et 1868, se décomposent comme suit :

	1868. Kilogrammes.	1867. Kilogrammes.
Briquettes	5,006,700	19,372,142
Charbon de terre gailleteux . . .	42,064,850	54,981,130
Charbon menu maigre.	86,691,500	83,988,240
Ensemble. . .	133,763,050	158,341,512

L. — *Huiles et graisses.*

Les huiles et les corps gras employés au chauffage et à l'éclairage en 1868, avaient ensemble une valeur de fr. 723,160 33, inférieure de fr. 250,535 43, à celle de l'année précédente.

M. — *Transit et services internationaux.*

Le tableau suivant contient le relevé des recettes du transit et des services internationaux en 1868.

NATURE DES TRANSPORTS.		MOUVEMENT.		RECETTES.	
		PART dans le mouvement général.	Quantités.	PART dans la RECETTE générale.	SOMMES.
		P. o/o.		P. o/o.	Fr. C.
VOYAGEURS.	1re classe	20,35	184,007	41,28	1,463,933 21
	2e classe	7,48	137,494	20,52	662,236 14
	3e classe	3,91	381,887	3,83	312,754 99
	Extraordinaires	2,30	5,936	3,43	9,784 78
BAGAGES.	Au minimum	24,33	Expéditions 31,341	22,06	15,012 65
	Au poids	35,04	Quintaux. 49,518	47,42	271,335 28
Équipages		37,58	118	44,50	6,628 92
Animaux		12,68	Expéditions 3,742	15,43	80,336 25
Finances		22,73	Groups. 215,817	19,22	51,395 48
Petits paquets		32,63	K. 1,364,386	37,22	196,529 96
Petites marchandises		12,34	Quintaux. 170,844	13,49	381,570 29
Grosses marchandises		22,43	Tonneaux. 1,490,453	24,16	4,962,823 4[illegible]
Produits extraordinaires		»	»	3,05	38,820 94
			TOTAUX. . . .	20,20	8,456,162 34

X. — Sur les progrès réalisés dans les fabriques de produits chimiques de la vallée de la Sambre, en ce qui concerne la condensation des gaz nuisibles. — Rapport adressé a M. le ministre de l'intérieur par M. J. Chandelon, professeur a l'université de Liége (1).

Liége, le 10 mai 1871.

Monsieur le ministre,

Chargé de vous adresser un rapport détaillé sur les progrès réalisés dans les fabriques de produits chimiques de la vallée de la Sambre, en ce qui concerne la condensation des gaz nuisibles, j'ai dû me rendre à différentes reprises sur les lieux, afin de recueillir les éléments de mon travail. C'est ce qui vous expliquera, M. le ministre, et justifiera tout à la fois, je l'espère, le retard que j'ai mis à satisfaire à votre désir.

Il m'a paru que le moyen le plus simple de faire ressortir l'importance des progrès réalisés dans l'industrie des produits chimiques, était de mettre en parallèle les résultats qu'on obtenait jadis, et ceux que donnent aujourd'hui les nouveaux appareils employés.

Je vais avoir l'honneur de vous rendre compte de mes observations concernant les émanations qui s'échappent des fabriques dont il s'agit et qui proviennent :

1° Des chambres à préparer l'acide sulfurique ;

2° Des fours à décomposer le sel commun par l'acide sulfurique ;

3° Des marcs de soude, résidu de la fabrication du sel de soude.

J'examinerai successivement sous ces trois points de vue la situation actuelle des quatre fabriques de produits chimiques de la province de Namur.

(1) Un écrit répandu en mars dernier dans toutes les communes de la province de Namur, provoquait les populations à un nouveau pétitionnement contre les fabriques de produits chimiques. Voulant s'éclairer sur le véritable état des choses et avoir des données exactes quant à l'efficacité des appareils de condensation employés aujourd'hui dans les fabriques de la vallée de la Sambre, le gouvernement a confié à M. le professeur Chandelon le soin de procéder à une nouvelle enquête dont les résultats sont consignés dans le rapport que nous reproduisons d'après le *Moniteur* du 30 août, n° 242.

1° ACIDE SULFURIQUE.

La pyrite sert encore exclusivement à la production de cet acide; mais le grillage de ce minerai s'opère aujourd'hui d'une manière convenable et suivant les recommandations de la commission d'enquête instituée par arrêtés royaux des 30 août 1854, 25 mai et 6 septembre 1855, et dont le rapport date du 13 janvier 1856.

Les grands fours à brûler la pyrite fragmentaire, dont la grille présentait une surface de 12 à 19 mètres carrés, ont été remplacés par un groupe de petits fours d'un service facile et disposés de manière à permettre de régler l'entrée de l'air nécessaire au grillage de la pyrite et aux réactions qui s'accomplissent dans les chambres, condition capitale d'une bonne fabrication.

On a, de plus, adopté à l'usine de Risle l'emploi des grilles à barreaux indépendants, décrites dans mon rapport sur l'exposition universelle de Londres en 1862, afin de mieux modérer l'accès de l'air, et, conséquemment, l'activité de la combustion.

On a également abandonné les anciens fours à dalles, qui exerçaient une très-fâcheuse influence sur la marche des chambres, en y laissant passer un tel excès d'air que les gaz acides, n'ayant plus assez d'espace pour s'y loger pendant le temps nécessaire aux réactions, étaient refoulés au dehors.

Actuellement, la pyrite menue se brûle soit dans les fours à grille, après avoir été agglomérée en boulets par l'addition d'une certaine quantité d'argile, soit dans des fours spéciaux, à soles superposées, où l'air chaud, en serpentant, vient successivement lécher la surface de chaque couche de minerai, en se chargeant de plus en plus de gaz sulfureux; soit enfin, dans des fours à cascades que M. l'ingénieur Gerstenhoffer a introduits avec succès dans l'industrie métallurgique.

Par suite de ces changements, les chambres ont maintenant une capacité suffisante pour la quantité d'acide qu'elles doivent produire; d'un autre côté, comme elles ne sont plus en communication avec la grande cheminée de l'usine, qui déterminait un appel trop énergique et entraînait au dehors une partie des gaz réagissant, leur marche est devenue plus régulière et, comme nous le verrons plus loin, leur rendement plus élevé.

Les vapeurs nitriques nécessaires aux réactions qui donnent naissance à l'acide sulfurique se produisent encore dans les fabriques de la province de Namur en décomposant le nitrate sodique par l'acide sulfurique dans des vases de fonte placés à l'extrémité du carneau qui conduit le produit de la combustion de la pyrite dans des chambres de plomb.

Cette manière d'opérer n'est pas sans inconvénients : le dégagement des vapeurs nitriques dépendant de la chaleur plus ou moins forte du four à pyrite, il peut se faire que, à un moment donné, les vapeurs ne pénètrent plus dans la chambre en quantité nécessaire pour lui assurer une marche convenable.

Or, le bon emploi du nitrate est tout aussi important que la production régulière du gaz sulfureux. En outre, dans certaines fabriques, le renouvellement du mélange de nitrate sodique et d'acide sulfurique donne lieu à un dégagement de vapeurs acides au moins très-incommode pour l'ouvrier chargé de ce travail.

On fait à Risle, l'essai d'un *four nitrant* entièrement indépendant des fours à pyrite. C'est un progrès, sans doute; mais il serait plus rationnel, selon moi, d'imiter certaines fabriques françaises et de substituer au nitrate l'acide nitrique extrait d'avance, qui s'écoulerait continuellement dans les appareils sous forme d'un jet susceptible d'être augmenté ou diminué à chaque moment de l'opération; il y aurait ainsi plus de régularité dans la fabrication et, partant, une économie de nitrate qui compenserait largement les frais occasionnés par l'extraction préalable de l'acide nitrique.

En 1855, la fabrique de Risle était la seule où l'on retînt à la sortie des chambres les vapeurs nitreuses, dont il faut toujours un certain excès pour donner la garantie qu'il ne se perd pas de gaz sulfureux.

Le mode de condensation usité était celui de Gay-Lussac, consistant à faire passer le courant gazeux par une colonne pleine de coke constamment arrosé d'acide sulfurique concentré. Ce dernier, rencontrant les composés nitreux sur une large snrface, en absorbe jusqu'à 3 1/2 p. c. de son poids ; de telle sorte que l'oxygène et l'azote atmosphérique, débarrassés des vapeurs nitreuses, s'échappent seuls dans l'atmosphère.

Depuis lors, les autres fabriques ont adopté l'emploi de condenseurs de l'espèce; mais, il faut bien le dire, tous les conden-

seurs employés n'ont pas des dimensions en rapport avec la capacité des chambres auxquelles ils sont annexés; d'autres, ayant les dimensions voulues, ne reçoivent pas l'acide sulfurique nécessaire à l'absorption des vapeurs nitreuses en quantité suffisante et au degré requis, parce que l'on recule devant les frais que nécessiterait l'établissement d'un appareil à air comprimé pour élever l'acide au sommet de la colonne absorbante.

La concentration de l'acide sulfurique à 66° B^e se fait à l'usine de Risle dans des ballons de verre. Telle qu'elle se pratique, elle donne lieu à des émanations qui, se répandant au dehors, pourraient exercer sur la végétation une influence nuisible, toutefois dans un rayon peu étendu.

On m'assure que, sous peu, la concentration à 66° B^e se fera à Risle dans des appareils en platine comme à Moustier et à Auvelais, où ils fonctionnent de la manière la plus satisfaisante.

La fabrication de l'acide sulfurique laisse donc encore à désirer sur certains points, notamment quant à la condensation des vapeurs nitreuses et à la surveillance qu'on devrait exercer sur la conduite des appareils de fabrication, surveillance confiée souvent aux soins d'hommes uniquement pratiques.

On doit cependant reconnaître, M. le ministre, que les améliorations introduites depuis 1855 ont eu pour résultat de faire cesser en grande partie les dommages provenant de cette fabrication, tout en faisant réaliser aux industriels une économie notable. C'est ce qui résulte des chiffres que j'ai relevés dans les registres de fabrication et dont voici le résumé :

Fabrique d'Auvelais. — Cet établissement possède 10 chambres, qui ont ensemble 21,839 mètres cubes de capacité. Toutefois, on a arrêté depuis quelques temps, pour les reconstruire, les chambres n°s 1 et 2, qui datent de 1852 et dont les charpentes n'offraient plus les garanties suffisantes de solidité, de sorte que le volume des chambres actuellement en activité se réduit à 17,632 mètres cubes.

Chaque chambre est alimentée par un massif de 4 fours à pyrite, présentant une surface totale de grilles de 6 mètres carrés. Chacun de ces fours reçoit, par jour et par mètre carré de grille, une charge de 450 kilogrammes de pyrite en grenaille.

Les vapeurs nitriques se produisent dans de petits pots en fonte,

qu'on introduit successivement et méthodiquement dans les fours, de manière à fournir aux chambres, dans les proportions voulues, les différents agents qui concourent à la formation de l'acide sulfurique. La quantité de nitrate employée est de 9 à 10 p. c. de soufre brûlé.

A la sortie de chaque chambre, se trouve un condenseur de 2 mètres de côté sur une hauteur variant de 9^m^50 à 13^m^70, donc d'une capacité de 36 à 55 mètres cubes.

Il résulte du tableau n° 1, annexé à ce rapport, que, pendant les sept derniers mois (septembre 1870 à mars 1871), on a traité à Auvelais, 3,570,460 kilogrammes de pyrite, qui ont produit 3,962,859 kilogrammes d'acide sulfurique à 60° B^e^, soit 111 kilogrammes d'acide pour 100 de minerai. Or, la richesse moyenne des pyrites, pendant cette période, étant de 36.5 de soufre dont 32.2 ont été brûlés, il s'ensuit que le rendement rapporté à 100 kilogrammes de soufre est de 344.7 kilogrammes.

En 1855, la commission d'enquête constatait que 352,326 kilogrammes de soufre avaient rendu 1,019,840 kilogrammes d'acide à 60° B^e^. Il y a donc aujourd'hui une augmentation de rendement de 344.70 — 289.45 = 55.25 kilogrammes.

Pendant l'année 1868-1869, 4,409,580 kilogrammes de pyrite en grenaille, dont on a brûlé 1,410,965 de soufre, ont produit 5,097,627 kilogrammes d'acide à 60°, soit un rendement de 361 kilogrammes par 100 de soufre, et conséquemment une augmentation de 71^k^,55 sur le produit constaté en 1855.

Fabrique de Floreffe. — Il y a actuellement, dans cette usine, cinq appareils, ayant les capacités suivantes :

N° 1.	1,296	mètres cubes.
N° 2.	1,368	»
N° 3.	1,284	»
N° 4.	1,691	»
N° 5.	1,536	»
Ensemble. . .	7,175	mètres cubes.

Le premier se compose d'une seule chambre, les n°s 2 et 3 d'un tambour et d'une grande chambre, le n° 4 d'une grande chambre et d'une chambre en queue, enfin le n° 5 d'un tambour, d'une grande chambre et d'une chambre en queue.

Le gaz sulfureux est produit dans de petits fours, dont le nombre, la surface de grille et la charge en vingt-quatre heures sont indiqués au tableau suivant :

NUMÉROS des APPAREILS.	NOMBRE DE FOURS COMPOSANT LE MASSIF.	NOMBRE DE FOURS EN ACTIVITÉ.	SURFACE DES GRILLES DES FOURS EN ACTIVITÉ.	CHARGES EN 24 HEURES.
			MÈTRES CARRÉS.	KILOGRAMMES.
1	4	4	10,80	2,000
2	4	4	10,80	2,000
3	8	5	8,45	1,800
4	10	6	10,14	1,800
5	9	4	5,20	1,500

Les vapeurs nitriques se produisent dans des demi-cylindres, au nombre de deux pour chaque chambre, placés dans le conduit général des fours.

La quantité de nitrate de soude consommée par 100 kilogrammes de soufre brûlé est de 11.2 kilogrammes.

Il y avait à chaque chambre un condenseur d'une capacité de $3^{m3},920$ (0,70 × 0,70 × 8), de sorte que, pour les 5 condenseurs, la capacité totale était de $19^{m3},6$. Ils sont aujourd'hui, à cause des changements ou réparations à y faire, remplacés provisoirement par la chambre en queue de l'appareil n° 4, laquelle a 460^{m3} de capacité, et par deux autres petites chambres pleines de coke, destinées à retenir les vapeurs nitreuses et dont la capacité est de $24^{m3},624$.

Ce condenseur provisoire communique par un canal avec la cheminée où se rendent les fumées des générateurs à vapeur et des fours à sulfate et qui se trouve au centre de la fabrique de produits chimiques.

Du 1er septembre 1870 au 31 mars 1871, on a traité à Floreffe (voir les détails au tableau-annexe n° 2) :

224,000 kilogrammes de pyrite fragmentaire ;
1,696,000 » de pyrite en mottes.

En tout, 1,920,000 kilogrammes, dont on a brûlé 553,563 ki-

logrammes de soufre, savoir : 89,600 provenant de la pyrite en roche et 440,960 provenant de la pyrite menue.

La quantité d'acide sulfurique recueillie ayant été 1,930,000 kilogrammes, il s'ensuit que 100 kilogrammes de soufre ont rendu 361k,88 d'acide à 60°B.

En 1855, le rendement était de 287k,96, soit une augmentation de 73k,92.

FABRIQUE DE MOUSTIER. — Elle compte quatre appareils, composés : les nos 1 et 2 d'un tambour, d'une grande chambre et de deux chambres en queue, les nos 3 et 4 d'un tambour, d'une grande chambre et d'une chambre en queue.

La capacité du	N° 1,	est	de	2,402	mètres cubes.
	N° 2,	»	»	2,366	»
	N° 3,	»	»	2,554	»
	N° 4,	»	»	2,730	»
	Ensemble. .		.	10,052	mètres cubes.

Les appareils nos 1 et 2 sont servis chacun par 4 petits fours présentant une surface totale de grilles de 6 mètres carrés, et les nos 3 et 4 chacun aussi par 6 petits fours de même dimension.

La charge par massif et par vingt-quatre heures, pour les appareils 1, 2 et 3, est de 3,000 kilogrammes et pour le n° 4 de 3,600 environ de pyrite fragmentaire.

Les vapeurs nitriques se produisent, comme il a été dit, dans deux chariots placés dans la cheminée qui conduit les produits de la combustion des fours aux chambres ; mais, pour éviter le refoulement des vapeurs acides pendant le renouvellement des chariots, on place aujourd'hui ces derniers dans un moufle en fonte, présentant une ouverture au sommet, qu'on ferme au moyen d'un obturateur lorsqu'il s'agit de retirer le chariot et de le remplacer par un nouveau.

On a consommé, par 100 kilogrammes de soufre brûlé, 8k,55 de nitrate de soude.

Les appareils nos 1, 2 et 3 ont pour condenseurs deux séries de six bombonnes aboutissant à une caisse de plomb de 1mc,5. La capacité totale est d'environ 4 mètres cubes.

Le condenseur de l'appareil n° 4 est formé de deux colonnes

en poterie de $0^m,90$ de diamètre sur 4 mètres de haut, sa capacité est de $9^{m3},64$.

Au sortir de ces condenseurs, les gaz se rendent par un tuyau de 0^m20 de diamètre sur 7 mètres de haut, dans un cylindre en plomb reposant sur le ciel de la grande chambre, et, de là, s'échappent dans l'atmosphère par un embranchement vertical dont on rétrécit plus ou moins l'ouverture par des disques métalliques, pour régler le tirage.

Le tableau suivant donne la quantité de pyrite brûlée et d'acide obtenu pendant les sept derniers mois (voir les détails au tableau-annexe n° 3 :

MOIS.	PYRITE.	SOUFRE CONTENU DANS LA PYRITE.	SOUFRE BRÛLÉ.	ACIDE SULFURIQUE A 60° Bé.
	KILOGRAMMES.	KILOGRAMMES.	KILOGRAMMES.	KILOGRAMMES.
Sept. 1870.	105,000	44,100	42,000	130,205
Oct. —	224,520	94,298	80,827	265,983
Nov. —	274,900	96,215	71,474	264,430
Déc. —	304,850	118,891	103,649	343,670
Janv. 1871.	314,250	113,130	101,160	332,404
Fév. —	326,800	117,648	101,308	336,000
Mars. —	396,800	142,848	123,008	420,180
TOTAUX.	1,947,120	727,130	623,426	2,092,872

Il en résulte que 623,426 kilogrammes de soufre ont rendu 2,092,872 kilog. d'acide, soit, pour 100 de soufre, 335,7.

En 1855, de 618,555 kilogrammes de soufre brûlé, savoir:

470,815 kilogrammes provenant de grosse pyrite;
35,150 » » de fine pyrite;
125,100 » » de soufre brut de Sicile,

on avait obtenu 1,946,959 kilogrammes d'acide à 60°, soit 314,70 pour 100 de soufre.

L'écart entre ces deux rendements est de 335,70—314,75 =20,65.

Cette augmentation est moins forte que pour les établissements

précédents ; mais il est à remarquer qu'en 1855, on avait brûlé du soufre de Sicile, dont le travail est plus facile et le rendement bien supérieur à celui de la pyrite.

FABRIQUE DE RISLE. — Les appareils de cet établissement sont au nombre de huit, chacun d'une capacité de 2,100 mètres cubes. Les nos 1, 2, 4 et 5 sont formés d'une grande chambre et d'une chambre en queue ; les nos 3, 6, 7 et 8 d'un tambour, d'une grande chambre et d'une chambre en queue. Les nos 7 et 8 reçoivent le gaz sulfureux provenant du grillage des pyrites pulvérulentes dans le four à cascades de Gerstenhoffer. Les appareils 1 à 6 sont alimentés par des fours à grilles renseignés au tableau suivant :

NUMÉROS des APPAREILS.	NOMBRE DE FOURS.	SURFACE TOTALE des GRILLES.	PYRITE TRAITÉE en 24 HEURES.
		MÈTRES CARRÉS.	KILOGRAMMES.
1	10	10	2,800
2	6	12	2,200
3	10	20	2,800
4	5	10	2,400
5	6	12	2,200
6	11	22	3,000

Les vapeurs nitriques nécessaires à la marche de l'appareil n° 8 se produisent dans un four comprenant quatre petites cornues chauffées par un seul foyer. Pour les autres chambres, les mêmes vapeurs s'obtiennent en décomposant le nitrate de soude dans des pots qu'on introduit méthodiquement dans les fours à pyrite.

Pour 100 kilogrammes de soufre, on consomme de 11 à 12 kil. de nitrate.

Chaque appareil est muni d'une colonne de plomb de $13^{m^3},5$ $(1\times1,5\times9)$, sur laquelle on verse environ 500 kilogrammes d'acide sulfurique à 60° B^e, pour l'absorption des vapeurs nitreuses.

Le condenseur de l'appareil n° 3 n'a que $2^{m^3},694$ (0^m70 de diamètre, sur 7 mètres de hauteur) ; mais il doit être remplacé dans un bref délai.

Pendant les sept années écoulées (voir le tableau annexe n° 4), on a traité à Risle 3,305,664 kilogrammes de minerai pyriteux, dont on a brûlé 988,507 kilogrammes de soufre, qui ont rendu 3,466,073 kilogrammes d'acide sulfurique à 60°, soit, pour 100 de soufre, 350,63 d'acide.

En 1855, 100 de soufre avaient produit 293.78, donc une augmentation de 350.63 — 293.78 = 56,85.

Conclusions. — Les résultats obtenus dans les quatre établissements, en ce qui concerne le rendement en acide sulfurique, peuvent être saisis d'un coup-d'œil par les données inscrites au tableau ci-après :

FABRIQUES.	ACIDE SULFURIQUE A 60° B produit par 100 de soufre. en 1870-1871.	en 1855.	AUGMENTATION.	PERTE D'APRÈS LE RENDEMENT THÉORIQUE (392,62).	PRODUIT : LE RENDEMENT THÉORIQUE ÉTANT 100.
			KILOGRAMMES.		
Auvelais (1).	344,70	289,45	55,25	47,92	87,81
Floreffe . .	361,88	287,96	73,92	30,74	92,17
Moustier. .	335,70	214.72 (2)	20,65	36,92	85,50
Risle. . . .	350,63	293,78	36,85	41,99	89,30

La perte mentionnée à la 5e colonne a pour cause :

1° Le dégagement du gaz sulfureux, qui s'échappe soit par les portes des fours au moment du chargement, soit par les cendriers pendant le dégrillage et dont la plus grande partie ne sort pas de l'usine;

2° Les fuites accidentelles qui se produisent aux fours, aux chambres, aux appareils de concentration, aux tuyaux de conduite, etc.;

3° Enfin, les vapeurs entraînées au dehors ou par la cheminée d'appel.

(1) Pendant l'année 1868-1869, on a obtenu 361 kilogrammes, l'augmentation est donc pour cette année, de 71.55.

(2) En 1855, le rendement de Moustier était supérieur à celui des autres fabriques parce qu'on y avait brûlé une certaine quantité de soufre brut à défaut de pyrite. Cette circonstance explique l'infériorité de l'augmentation actuelle.

Pour évaluer la quantité de gaz acide qui se répand dans l'atmosphère, j'aurais dû, M. le ministre, me livrer à une longue série d'observations et d'analyses qui m'ont paru inutiles en présence du rendement actuellement obtenu. Dans les établissements bien dirigés, 100 kilogrammes de pyrite à 34 de soufre utilisé rendent 122 kilogrammes d'acide à 60° B^{c}, soit pour 100 de soufre 360 d'acide. Or, ce rendement, atteint à Floreffe, est à peu près réalisé à Risle, et les autres fabriques s'en rapprochent notablement et y arriveraient, si elles apportaient dans la conduite des appareils tous les soins possibles.

A Moustier et à Auvelais, on cherche trop à économiser le nitrate, matière première la plus coûteuse. Au lieu de 10 à 12 p. c. de soufre brûlé, proportion généralement employée, on en a consommé à Moustier 8,55 et à Auvelais 9 p. c. Si ces établissements avaient des appareils de condensation convenablement installés et bien dirigés, la proportion de nitrate ne serait plus que de 6 à 6 1/2 p. c.

Or, l'économie résultant de ce chef compenserait largement les frais de construction et d'entretien d'une colonne absorbante bien établie.

Dans les meilleures fabriques anglaises on donne aux condenseurs une capacité de 10 mètres cubes par tonne de soufre brûlé. A part l'usine de Moustier, les autres établissements ont adopté, pour ces appareils, des proportions convenables ; mais ils ne sont pas toujours bien conduits, et l'acide nécessaire à l'alimentation n'étant pas, comme à Risle, refoulé au sommet de la colonne absorbante par un appareil à air comprimé et devant y être élevé péniblement à bras d'homme, on cherche à s'épargner cette besogne qui, dans certains cas, n'est pas sans danger.

2° SULFATE DE SOUDE, ACIDE CHLORHYDRIQUE.

Les anciens fours à décomposer le sel par l'acide sulfurique, dits *fours à sulfate*, source principale des plaintes qu'élevait le voisinage, à cause du dégagement considérable de vapeurs acides qu'ils occasionnaient, sont remplacés dans tous nos établissements par des *fours à double voûte*, qui rendent possible la condensation presque complète de ces émanations. Commencée dans la cuvette,

la transformation du sel s'achève dans un moufle où le sulfate acide se change en sulfate neutre, sans être en contact direct avec la flamme du foyer.

En outre, aux condenseurs à bombonnes, si vicieux et d'un maniement si difficile, on a substitué, dans ces derniers temps, de hautes et larges tours de condensation, remplies de coke, sur lequel tombe continuellement une pluie d'eau qui absorbe le gaz dans sa course ascensionnelle.

Les bons effets de ces appareils, que M. Gossage a si avantageusement introduits dans l'industrie soudière, ne peuvent plus être révoqués en doute par nos industriels, et c'est grâce à leur puissance que les fabricants de la Grande-Bretagne ont pu condenser les 99/100 du gaz acide chlorhydrique qu'ils produisent, bien qu'aux termes de l'article 7 de *The alkali act* ils ne soient astreints qu'à retenir les 95/100 de celui que représente le chlorure de sodium décomposé.

L'expérience a suffisamment démontré aujourd'hui que le gaz chlorhydrique est susceptible d'une facile condensation si l'on a soin de le refroidir convenablement et de le maintenir aussi pur que possible, pendant un temps donné, sur une grande surface d'eau froide.

Plus le gaz est chaud, plus son courant est rapide, plus il est mélangé d'air et plus on éprouve de difficulté à obtenir sa condensation, même en présence d'un grand excès d'eau.

Il importe aussi de bien choisir le coke et de le placer convenablement. Les morceaux ne doivent être ni trop petits ni trop serrés; sinon, la résistance au passage pourrait être assez grande pour empêcher les gaz d'y cheminer. En fragments trop gros ou trop espacés, le coke livre un passage trop facile aux gaz, et s'il vient à s'écraser en quelques endroits, il forme des couches très-compactes à côté d'espaces vides ; or, comme les gaz suivent naturellement les chemins les plus faciles, des portions considérables du condenseur restent alors inactives.

Des dimensions restreintes et surtout une section trop petite constituent un grave défaut ; je l'ai déjà dit, la condensation du gaz exige un certain temps et aucun accès d'eau descendant rapidement dans des colonnes étroites ne peut remplacer une augmentation de section.

Les tours les plus larges employées en Angleterre ont $2^{m},642$ de côté et la pratique a démontré qu'il faut donner aux condenseurs une capacité moyenne de $1^{m3},4$ à $1^{m3},7$ pour chaque centaine de kilogrammes de sel décomposé en vingt-quatre heures.

Quant aux réfrigérants que les gaz doivent traverser avant leur entrée dans les tours de condensation, on leur a donné au maximum, une capacité de $3^{m3},962$ par chaque 100 kilogrammes de sel traité en vingt-quatre heures.

Enfin, pour obtenir des résultats complets, il faut encore que les fours à sulfate soient construits avec soin et bien entretenus. La voûte du moufle ne doit présenter ni fentes ni crevasses, car elles laisseraient passer le gaz chlorhydrique dans le conduit de fumée et, de là, dans la grande cheminée.

Des conditions défavorables se présentent encore quand la cuvette vient à se fêler ou à se trouer. Aussi doit-on avoir grand soin de n'y introduire que du sel préalablement desséché et de l'acide sulfurique à 60° B et aussi chaud que possible, afin d'éviter tout refroidissement brusque. Il convient encore de ne jamais vider complétement la cuvette lorsqu'on *passe les opérations* sur la sole de calcinage ; une croûte de 1 à 2 centimètres d'épaisseur préserve efficacement la fonte contre l'action corrosive de l'acide.

Après ces considérations générales sur la fabrication dont je m'occupe ici, je crois utile d'exposer ce qui concerne spécialement chacun des établissements qui font l'objet du présent rapport.

AUVELAIS. — Le sulfate de soude se fabrique au moyen de six fours à une calcine et une cuvette de fonte. On charge par opération 300 à 400 kilogrammes de sel et 325 à 400 kilogrammes d'acide sulfurique à 60° B : l'opération durant quatre heures, chaque four reçoit par jour 1,800 à 2,400 kilogrammes de sel.

On y a annexé, pour la condensation des vapeurs acides, une tour en grès naturel de 16 à 17 mètres de haut, 2 mètres de large d'un côté et $1^{m}80$ de l'autre.

Les tours des fours n°s 2 et 3 ont chacune une capacité de $57^{m3},6$; celle des fours n°s 1, 4, 5 et 6, une capacité de $61^{m3},2$.

A leur base, se trouve un réservoir réfrigérant placé de manière à pouvoir être visité dans toutes ses parties et où viennent aboutir

les conduits qui y amènent séparément les gaz des cuvettes et des calcines.

Le tableau suivant donne leur capacité respective :

NUMÉROS des FOURS.	RÉFRIGÉRANTS.		CAPACITÉS TOTALES.
	RÉSERVOIRS.	CONDUITS.	
	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.
1	6,264	9,009	16,240
2	4,603	4,477	9,080
3	4,603	4,920	9,523
4	10,838	10,420	21,258
5	10,838	15,909	26,747
6	6,264	7,436	13,700

Pour chaque quantité de 100 kilogrammes de sel décomposé en vingt-quatre heures, les réfrigérants et les tours de condensation ont les capacités ci-dessous indiquées :

NUMÉROS DES FOURS.	RÉFRIGÉRANTS.		TOURS.	
	CHARGE DE 300 KIL.	CHARGE DE 400 KIL.	CHARGE DE 300 KIL.	CHARGE DE 400 KIL.
	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.
1	0,903	0,670	3,400	2,710
2	0,504	0,378	3,200	2,400
3	0,530	0,390	3,200	2,400
4	1,181	0,896	3,400	2,710
5	1,480	1,011	3,400	2,710
6	0,760	0,590	3,400	2,710

Le tableau-annexe n° 5 fait connaître les quantités de sel décomposé et d'acide chlorhydrique obtenu pendant les mois de septembre 1870 inclus mars 1871.

Il résulte des chiffres qui y sont inscrits que la quantité d'acide recueillie par 100 kilogrammes de sel a été, savoir :

Pendant le mois de :

Septembre 1870	189	kilogrammes.
Octobre	198	»
Novembre	172	»
Décembre	120	»
Janvier 1871.	94	»
Février	79	»
Mars	91	»
Moyenne générale . . .	135	kilogrammes.

Les quantités ci-dessus indiquées ne comprennent pas la totalité de l'acide chlorhydrique fournie par les condenseurs, mais seulece qui a été livré au commerce.

Pendant les trois derniers mois, les expéditions par bateau et par chemin de fer ayant été interrompues ou entravées, on a dû faire écouler à la rivière une grande quantité de l'acide recueilli.

Pendant le second semestre de 1870, on a livré à la consommation 1,740,905 kilogrammes d'acide chlorhydrique provenant de la décomposition de 966,100 kilogrammes de sel, soit, 174,7 d'acide pour 100 de sel.

En 1855, du 1er janvier jusqu'au 30 juin, on a décomposé 639,935 kilogrammes de sel et on a recueilli 696,280 kilogrammes d'acide chlorhydrique commercial, ce qui donne pour 100 de sel décomposé 108,8 d'acide.

L'écart entre ce rendement et celui que l'on obtient aujourd'hui est donc de 174,7 — 110,9 = 63,8.

La quantité d'acide vendu, par 100 de sel, était, en 1852, de 21,9 kilogrammes ; en 1853, de 15,7 ; en 1854, de 35,5.

A cette époque, les vapeurs acides, produites par le calcinage, n'étaient soumises à aucun moyen de condensation et se rendaient directement à la grande cheminée.

Floreffe. — La halle où s'effectue la fabrication du sulfate de soude renferme sept fours analogues à ceux qui ont été décrits dans le rapport de la commission d'enquête.

Les nos 1 et 2 ont chacun deux cuvettes de plomb ; les nos 3 à 7 une cuvette en fonte ; tous décomposent 1,800 kilogrammes de sel en vingt-quatre heures. Cinq fours seulement sont en activité ; deux sont en réparation.

Des soins tout particuliers sont apportés à la construction du moufle, pour empêcher l'acide chlorhydrique qui s'y produit de traverser les joints des briques qui forment la voûte et de venir se mélanger aux gaz de la combustion. A cet effet, cette voûte est recouverte d'une couche de verre pilé, légèrement alcalin, susceptible d'être amené à l'état pâteux, à la température à laquelle ces fours doivent être chauffés et, conséquemment, de former un enduit imperméable.

Les anciens condenseurs en grès-cérames ont été supprimés et remplacés par cinq tours en maçonnerie de 14 mètres de hauteur sur $1^{m}50$ de diamètre ($24^{mc},727$ de capacité), pleines de coke et alimentées d'eau d'une manière continue par un corps de pompe attaché à la machine desservant l'usine. Avant d'arriver aux condenseurs, les gaz passent, par des réservoirs réfrigérants en maçonnerie au ciment d'asphalte et dont les capacités sont les suivantes :

NUMÉROS DES FOURS.	RÉSERVOIRS.	CONDUITS.	CAPACITÉ TOTALE.
	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.
1	7,791	0,100	7,891
2	7,791	0,100	7,891
	15,120	0,072	15,192
3	15,120	0,072	15,192
4	7,791	2,663	10,454
5	9,825	4,465	14,290
6 7	27,333	0,082	27,405

Le four n° 2 travaille lorsque les n°s 1 et 3 sont en réparation et ses vapeurs passent alternativement dans le réfrigérant du four n° 1 ou du four n° 3.

Les fours n°s 6 et 7, qui ne marchent pas en même temps, sont en communication avec le même condenseur.

En rapportant à 100 kilogrammes de sel décomposé en vingt-quatre heures les capacités de ces condenseurs, on arrive aux données ci-après :

NUMÉROS DES FOURS.	RÉFRIGÉRANT.	TOURS DE CONDENSATION.
	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.
1	0,438	1,373
2	0,438	1,373
	0,844	1,373
3	0,844	1,373
4	0,580	1,373
5	0,793	1,373
6	1,001	1,373
7	1,001	1,373

L'acide chlorhydrique recueilli par 100 kilogrammes de sel a été en :

Septembre 1870	148	kilogrammes.
Octobre	145	»
Novembre	145	»
Décembre	147	»
Janvier 1871.	107	»
Février	117	»
Mars.	115	»
Moyenne	132	kilogrammes.

La quantité de sel dépensé dans cette fabrication, en 1870, a été de 2,783,500 kilogrammes, qui ont produit 3,230,340 de sulfate ; la quantité d'acide chlorhydrique vendue ou employée dans l'usine s'est élevée à 4,079,775 kilogrammes.

En comparant le rendement de cet acide produit dans les nouveaux condenseurs à ce qu'il était dans les anciens appareils en 1855, on trouve qu'il est aujourd'hui de 146,57 p. c. de sel consommé, tandis que, d'après le rapport de la commission d'enquête, il n'était que de 74,50 p. c.; le rendement actuel dépasse donc celui de 1855 de 72,07 p. c.

On n'a pas compris, dans les chiffres ci-dessus, l'acide chlorhydrique consommé dans l'établissement même pour la préparation de la *potée* (oxyde ferrique) employée dans le polissage des glaces, ni l'acide que l'on a dû jeter faute de débit.

Voici, d'après les renseignements qui m'ont été fournis par M. Henroz, administrateur-gérant, comment doit s'établir la production approximative des trois premiers mois de cette année :

Livré au commerce, 731,250 kilogrammes ; envoyé à la rivière, 202,500 ; consommé dans l'usine, 180,800 ; total 1,114,150 kilogrammes.

Le sel décomposé étant de 803,400, l'acide obtenu par 100 kilog. de sel est conséquemment de 138,67.

MOUSTIER. — Cette usine possède six fours à une cuvette en fonte, dont cinq ordinairement en activité ; chacun décompose, en vingt-quatre heures, 1,800 kilogrammes de sel.

Le système de condensation adopté à Moustier est compliqué, d'un service difficile, pénible et qui demande une surveillance de tous les instants. L'acide chlorhydrique provenant de chaque cuvette est amené dans deux séries parallèles de 21 bombonnes chacune, disposées, sous toit, sur un plan horizontal. Ces bombonnes sont reliées entre elles par des tubes en caoutchouc adaptés à leur panse, de façon à en rendre le syphonnage facile. Au sortir des dernières bombonnes, les gaz descendent dans un canal en maçonnerie de 1 mètre de large sur 1m20 de haut, commun à deux fours, où se rendent directement les vapeurs acides des calcines. De ce canal, les gaz traversent d'abord deux colonnes en grès naturel de 7 mètres de haut sur 1m80 d'un côté et 1m60 de l'autre, pleines de coke constamment arrosé ; puis deux séries de 10 bombonnes, et enfin deux colonnes en grès semblables aux premières et dans lesquelles on fait tomber une abondante pluie d'eau. Ces dernières colonnes sont en communication avec un canal qui aboutit à la grande cheminée, dont la hauteur a été réduite, depuis un certain temps déjà, de 50 à 25 mètres.

Le liquide des deux premières colonnes sert à l'alimentation des bombonnes de la cuvette et, conséquemment, à produire de l'acide au degré commercial.

Les *petites eaux* qui sortent des deux dernières s'écoulent dans la Sambre.

Nous donnons dans le tableau ci-après la capacité des appareils de condensation de chaque four :

NUMÉROS des FOURS.	CAPACITÉS des APPAREILS CONDENSEURS.	CAPACITÉS par 100 kilogrammes de sel décomposé EN 24 HEURES.
	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.
1	78,857	3,990
2	60,857	3,380
3	60,857	3,380
4	78,857	3,990
5	82,457	4,570
6	84,857	4,720

Le tableau-annexe n° 7 donne les quantités de sel décomposé et d'acide chlorhydrique livrées au commerce ou employées à la fabrication du chlorure de chaux pendant les mois de septembre 1870 inclus mars 1871.

La quantité d'acide utilisé dans l'établissement même n'étant qu'approximative, nous prendrons, pour apprécier les effets des appareils condenseurs, les chiffres obtenus pendant les trois premiers mois de cette année et qui ont été exactement relevés. Il résulte des renseignements fournis par la direction que, pendant le premier trimestre de cette année, on a décomposé :

Au four n° 1 — 115,300 kilogr. de sel.
Id. 2 — 252,800 id.
Id. 3 — 133,200 id.
Id. 4 — 66,100 id.
Id. 5 — 78,700 id.
Id. 6 — 139,300 id.

En tout 685,400

Et que l'on a obtenu :

Au four n° 1 — 166,050 d'ac. chlorhyque. commercial.
Id. 2 — 166,960 id. id.
Id. 3 — 161,350 id. id.
Id. 4 — 77,450 id. id.
Id. 5 — 79,650 id. id.
Id. 6 — 151,050 id. id.

En tout 802,510

La quantité d'acide par 100 kilogrammes du sel décomposé a donc été :

Au four n°	1 —	144	kilogrammes.
Id.	2 —	109	id.
Id.	3 —	121	id.
Id.	4 —	117	id.
Id.	5 —	100	id.
Id.	6 —	108	id.
Et, en moyenne générale . .		117	id.

La quantité moyenne d'acide commercial obtenu pendant l'exercice 1854-1855 était de 58,7 p. c. de sel, l'augmentation est donc de 117 — 58,7=58,3.

Risle. — On compte, dans cet établissement, six fours à sulfate à une cuvette de fonte. Les n°s 1, 2, 3 et 6 reçoivent, toutes les quatre heures, une charge de 300 kilogrammes de sel, soit 1,800 par jour; les fours 4 et 5 en décomposent 450 en trois heures ou 3,600 en vingt-quatre heures.

Lorsque tous les fours sont en activité, ils peuvent transformer en sulfate journellement 14,400 kilogrammes de sel commun.

Les appareils de condensation se composent :

1° D'un réfrigérant formé de 6, 8 ou 12 colonnes en grès naturel, en poterie ou en briques réfractaires, d'une hauteur de 5^{m}20 à 7^{m}80, sur un diamètre variant de 0^{m}65 à 0^{m}90 ;

2° D'une tour de condensation en briques faites d'une pâte cuite en grès, cimentées à l'asphalte et enduites de goudron épais.

Cette tour, qui est pleine de coke, a une hauteur de 15^{m}40 et un diamètre de 2 mètres à 2^{m}30.

Le gaz s'échappe de bas en haut et rencontre de l'eau, qui tombe en pluie. Cette tour est surmontée d'une petite cheminée en poterie débouchant à l'air libre et donnant issue à la faible quantité de gaz qui ne se dissout pas.

Le tableau suivant donne la capacité de ces divers appareils de condensation :

NUMÉROS des FOURS.	RÉFRIGÉRANT.	TOUR.	CAPACITÉ PAR 100 KILOGRAMMES DE SEL	
			Du réfrigérant.	De la tour.
	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.	MÈTRES CUBES.
1	17,707	48,356	0,983	2,680
2	18,115	48,356	1,000	2,680
3	16,757	48,356	0,930	2,680
4	29,735	63,956	0,826	1,770
5	23,677	63,956	0,916	1,770
6	17,283	48,356	0,960	2,680

Le tableau-annexe n° 8 donne les quantités de sel décomposé pendant les mois de septembre 1870 à mars 1871.

Il en résulte que, pendant ce temps, on a traité 2,137,962 kilogrammes de sel et livré au commerce 1,481,550 d'acide chlorhydrique, soit, en moyenne, 78 kilogrammes d'acide par 100 kilogrammes de sel traité. Ce rendement moyen se subdivise comme suit :

Septembre 1870 . . .	116 kilog. d'acide	pour 100	de sel.
Octobre	118	id.	id.
Novembre	106	id.	id.
Décembre	40	id.	id.
Janvier 1871	49	id.	id.
Février.	63	id.	id.
Mars.	52	id.	id.

En 1870, on a transformé en sulfate 2,999,100 kilogrammes de sel et livré au commerce 1,683,150 kilogrammes d'acide chlorhydrique, soit 56,12 pour 100 de sel.

On a consommé à Risle une assez forte quantité d'acide chlorhydrique pour laver les pyrites provenant de l'exploitation de Vedrin et enlever ainsi le calcaire qui en forme la gangue.

L'acide utilisé de cette façon n'est pas compris dans le rendement ci-dessus et l'on n'a pu me renseigner sur sa quantité.

Dans une lettre portant la date du 20 avril dernier, l'ingénieur-chimiste de la société a bien voulu me transmettre le résultat d'une expérience faite en vue d'apprécier la quantité d'acide chlorhy-

drique perdue à l'état de gaz. Cette perte serait de 1,33 p. c. de l'acide produit,

Voici les données de cette expérience :

	kilog.	
Sel brut traité aux fours nos 2, 4 et 6	2,700	»
Chlorure sodique contenu dans le sel brut.	2,432	»
Sulfate de soude obtenu.	3,113	»
Chlorure sodique non décomposé et resté dans le sulfate	4.23	
Chlorure sodique converti en sulfate 2,432—4,23 =	2,427.77	
Acide chlorhydrique commercial recueilli à 20° Bé (29,76 p. c. acide pur)	4,884	»
Acide chlorhydrique écoulé dans les bassins de lavage (20° Bé—20,56 acide pur).	211	»
Acide chlorhydrique pur produit par les 2,427,77k. de sel décomposé.	1,514.92	
Acide chlorhydrique contenu dans les acides recueillis.	1,494.69	
Acide chlorhydrique qui a échappé aux moyens de condensation	20.07	
Acide chlorhydrique non condensé par 100 kilogrammes de sel brut traité.	0.74	

Ce résultat démontre qu'avec de la bonne volonté l'acide pourrail être condensé dans notre pays, aussi bien que dans les fabriques anglaises.

En 1854, la proportion d'acide chlorhydrique non condensée était de 22,90 pour 100 de sel décomposé.

Conclusions. — De tout ce qui précède, il ressort à l'évidence qu'au point de vue de la condensation du gaz acide chlorhydrique, les fabriques de la province de Namur ont réalisé d'incontestables progrès. Les chiffres ci-après en feront ressortir l'importance :

FABRIQUES.	ACIDE CHLORHYDRIQUE LIVRÉ AU COMMERCE ET RAPPORTÉ A 100 KILOGRAMMES DE SEL.		AUGMENTATION.	ACIDE LIVRÉ EN 1870, LA VENTE EN 1854 ÉTANT = 100.
	1870.	1854.		
	KILOGRAMMES.	KILOGRAMMES.	KILOGRAMMES.	
Auvelais . .	174,70	35,5	139,20	492
Floreffe. . .	138,67	61,7	76,92	225
Moustier . .	117,00	58,7	58,30	200
Risle	113,00 (1)	74,5	38,50	150

Cependant, ces résultats ne sont pas ceux que l'on obtiendrait si la consommation de l'acide chlorhydrique était en rapport avec sa production et si, par conséquent, celle-ci cessait d'être un grand embarras pour nos industriels. Des débouchés suffisants ou une augmentation de prix feraient, pour engager nos fabricants à condenser d'une manière efficace, beaucoup plus que les prescriptions de l'administration et que les demandes en dommages-intérêts des voisins.

On apporte dans l'entretien des fours à sulfate une négligence regrettable. Nous en avons vu que l'on maintenait en activité bien que la voûte intérieure fût fissurée et laissât passer des vapeurs acides dans le conduit de fumée.

Les cuvettes en fonte sont souvent défectueuses au point de vue de leur qualité; parfois leur forme laisse à désirer.

Les soins que l'on prend en Angleterre pour les garantir de tout refroidissement brusque sont ici généralement négligés; nous pourrions citer tel établissement où l'on a remplacé 12 cuvettes en 52 jours!

Dans presque toutes nos fabriques, le cube des appareils réfrigérants est loin d'être suffisant et les gaz arrivent trop chauds dans les fours de condensation. A moins que celles-ci n'aient une capacité trop grande et ne fassent en même temps l'office de réfrigérant, la condensation doit se faire mal et, dès lors, les émanations acides se répandent au dehors et peuvent provoquer les réclamations du voisinage.

(1) Ces chiffres se rapportent aux mois de septembre, octobre et novembre 1870.

Enfin, nos industriels ne doivent pas perdre de vue que si le rendement en acide chlorhydrique commercial, par 100 kilogrammes de sel décomposé, s'est considérablement accru, d'un autre côté ils ont aussi considérablement augmenté leur fabrication totale, ainsi que le démontrent les chiffres ci-après :

FABRIQUES.	SEL DÉCOMPOSÉ. 1870.	SEL DÉCOMPOSÉ. 1854.	AUGMENTATION.	SEL DÉCOMPOSÉ EN 1870, LA CONSOMMATION EN 1854 ÉTANT = 100.
	KILOGRAMMES.	KILOGRAMMES.	KILOGRAMMES.	
Auvelais . .	3,689,700	1,520,384	2,109,316	238
Floreffe. . .	2,783,500	1,090,000	1,693,500	255
Moustier . .	3,566,675	1,660,000	1,875,995	213
Risle	2,999,100	1,633,700	1,365,400	183
	12,948,975	5,904,764	7,044,211	219

En définitive, on pourrait se retrouver, au point de vue des résultats d'une condensation incomplète, dans une situation qui ne différerait guères de celle qui a provoqué des plaintes si vives en 1853.

3° MARCS DE SOUDE.

Le marc ou résidu du lessivage de la soude brute, que l'on accumulait en masses très-considérables à proximité des usines, était anciennement une cause permanente d'insalubrité pour le voisinage.

Sous l'influence de l'air et de l'humidité, le marc de soude donnait naissance à un abondant dégagement d'hydrogène sulfuré, dont l'odeur infecte se répandait à de très-grandes distances. En outre, la masse s'échauffait souvent au point de prendre feu et produisait alors de grandes quantités de gaz sulfureux qui exerçaient sur la végétation des alentours une action funeste.

Ces graves inconvénients ont disparu depuis que, suivant les conseils de la commission d'enquête, le marc de soude frais est étendu sur le sol en couches minces ou formé en monceaux isolés

n'excédant pas un mètre cube, si bien qu'on ne les réunit plus en amas considérables qu'après leur complète oxydation. Toutefois, les anciens tas de marcs de soude ont reproduit il y a quatre ans, à Risle, les inconvénients que je viens de mentionner.

Au mois de septembre 1867, des cendres chaudes ayant été déposées trop près d'un de ces tas provoquèrent une prise de feu qui se serait propagée dans toute la masse si on ne l'eût arrêtée en creusant une profonde tranchée. Malgré tous les efforts, ce n'est qu'au mois de mars 1868 que la combustion fut complétement étouffée.

Un second accident s'est produit dans la même usine. L'eau des étangs placés en amont et sur le côté des marcs de soude, étant venue à filtrer dans le sol, a donné lieu à un écoulement continu d'une liqueur jaune répandant une forte odeur d'œufs pourris.

On fait en ce moment, sur les conseils que j'ai donnés, des essais pour utiliser le soufre contenu dans cette liqueur et tout permet d'espérer qu'ils seront couronnés de succès. Dans le cas contraire, des mesures radicales devraient être prescrites pour faire cesser cet état de choses.

Agréez, M. le ministre, l'hommage de mes sentiments les plus respectueux.

J.-T.-P. CHANDELON.

ACIDE SULFURIQUE.

FABRIQUE D'AUVELAIS.

Tableau n° 1.

DATES.	PYRITE TRAITÉE AUX APPAREILS								QUANTITÉ totale de pyrite consommée. — Kil.	ACIDE sulfurique à 60° obtenu. — Kil.	NITRE consommé. — Kil.
	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.	N° 7.	N° 8.	N° 9.	N° 10.			
Septembre 1870 . .	»	15,450	4,800	»	32,400	32,400	»	»	85,050	20,466	2,136
Octobre.	»	74,100	71,450	45,000	73,000	71,160	»	12,000	346,710	371,148	8,880
Novembre	19,200	87,900	86,200	85,100	81,900	82,410	80,300	80,750	603,750	638,338	17,815
Décembre.	80,950	77,600	76,650	76,300	75,100	82,500	80,100	77,800	627,000	679,920	18,820
Janvier 1871	92,800	93,200	83,600	84,000	83,500	83,300	79,400	75,200	675,000	677,014	20,328
Février.	73,900	80,900	72,900	72,500	73,600	73,000	62,000	61,700	570,500	634,817	16,800
Mars	89,200	93,200	84,700	84,700	84,100	84,100	71,800	70,950	662,450	741,156	19,420
	356,050	522,350	480,300	447,300	503,600	508,870	373,600	378,400	3,570,460	3,962,859	104,199

FABRIQUE DE FLOREFFE.

Tableau n° 2.

DATES.	PYRITE TRAITÉE AUX APPAREILS					QUANTITÉ TOTALE de pyrite consommée.	ACIDE SULFURIQUE à 60° obtenu.	NITRE consommé.
	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	— Kil.	— Kil.	— Kil.
Septembre 1870 . .	60,000	60,000	55,000	55,000	»	230,000	230,000	8,000
Octobre.	55,000	55,000	54,000	54,000	52,000	270,000	260,000	8,000
Novembre	60,000	60,000	54,000	54,000	52,000	280,000	280,000	8,500
Décembre.	60,000	60,000	54,000	54,000	52,000	280,000	260,000	8,000
Janvier 1871	60,000	60,000	57,000	57,000	56,000	290,000	300,000	9,000
Février	60,000	60,000	54,000	54,000	52,000	280,000	300,000	9,000
Mars	60,000	60,000	57,000	57,000	56,000	290,000	300,000	9,000
	415,000	415,000	385,000	385,000	320,000	1,920,000	1,930,000	59,500

FABRIQUE DE MOUSTIER.

Tableau n° 3.

DATES.	PYRITE TRAITÉE AUX APPAREILS.				QUANTITÉ TOTALE de pyrite consommée. — Kil.	ACIDE SULFURIQUE à 60° obtenu. — Kil.	NITRE consommé. — Kil.
	No 1.	No 2.	No 3.	No 4.			
Septembre 1870 . .	65,000	»	»	40,000	105,000	130,205	3,080
Octobre.	82,640	»	31,880	110,000	224,520	265,983	6,386
Novembre	80,800	»	88,500	105,600	274,900	264,430	7,840
Décembre.	91,750	»	101,800	111,300	304,850	343,670	8,308
Janvier 1871 , . . .	92,750	»	111,400	110,000	314,250	332,404	7,998
Février.	84,000	43,800	100,200	98,800	326,800	336,000	8,852
Mars	85,000	92,650	109,000	112,150	396,800	420,180	10,850
	581,940	136,450	542,780	687,850	1,947,120	2,092,872	53,314

FABRIQUE DE RISLE.

Tableau n° 4.

DATES.	PYRITE TRAITÉE AUX APPAREILS.								QUANTITÉ totale de pyrite consommée.	ACIDE sulfurique à 60° obtenu.	NITRE consommé.
	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.	N° 7.	N° 8.	Kil.	Kil.	Kil.
Septembre 1870 . .	»	72,000	65,862	97,380	66,000	84,000	»	»	385,242	432,810	15,540
Octobre.	»	68,200	67,950	»	15,600	66,800	94,500	»	313,050	391,222	14,275
Novembre	»	66,000	64,200	»	62,100	84,000	122,400	»	398,700	431,792	14,664
Décembre.	»	68,200	68,602	»	68,200	82,100	114,120	59,650	460,872	499,301	18,025
Janvier 1871	»	69,200	82,000	»	67,400	80,100	149,550	148,110	596,360	508,514	16,980
Février	»	61,900	76,800	42,600	62,500	78,200	125,460	96,200	543,360	581,285	16,310
Mars	28,500	68,400	85,500	33,600	70,000	70,080	126,990	125,010	608,080	621,149	21,390
	28,500	473,900	510,914	173,580	411,800	545,280	732,720	428,970	3,305,664	3,466,073	117,484

SULFATE DE SOUDE.

FABRIQUE D'AUVELAIS.

Tableau n° 3.

DATES.	SEL DÉCOMPOSÉ AU FOUR						Quantité totale de sel décomposé. — Kil.	ACIDE hydrochlorique livré au commerce. Kil.	ACIDE hydrochlorique par 100 kil. de sel. Kil.
	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.			
Septembre 1870 . .	43,200	»	»	»	13,500	28,500	85,200	161,259	189
Octobre.	50,550	»	17,700	»	39,600	10,050	117,900	234,429	198
Novembre	57,600	35,100	52,300	»	57,600	42,500	245,100	422,459	172
Décembre.	54,900	54,900	41,700	»	54,900	54,900	261,300	313,913	120
Janvier 1871	55,800	55,800	55,800	11,400	55,800	55,800	290,400	272,432	94
Février.	59,200	63,600	63,600	63,600	63,600	63,600	377,200	298,001	79
Mars	56,400	61,600	61,600	68,800	68,800	61,300	378,500	345,276	91
	377,650	271,000	292,700	143,800	353,800	316,650	1,755,600	2,047,769	m. 135

FABRIQUE DE FLOREFFE.

Tableau n° 6.

DATES.	SEL DÉCOMPOSÉ AU FOUR							Quantité totale de sel décomposé. — Kil.	ACIDE hydrochloridrique livré au commerce et acide consommé dans l'usine. Kil.	ACIDE hydrochloridrique par 100 kil. de sel. Kil.
	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.	N° 7.			
Septembre 1870 . .	»	39,600	45,000	»	45,000	45,060	»	174,600	258,400	148
Octobre	47,400	44,400	46,200	»	46,500	46,200	»	230,700	336,820	145
Novembre	53,400	57,800	46,500	10,500	46,800	46,800	»	241,800	351,830	145
Décembre	47,100	»	43,500	45,900	34,300	45,000	»	215,800	317,210	147
Janvier 1871	51,600	42,900	52,200	54,000	41,400	56,100	»	268,200	288,250	107
Février.	54,600	47,400	38,400	48,000	»	48,300	10,500	247,200	290,125	117
Mars	53,400	50,100	»	49,200	45,600	48,600	41,100	288,000	331,875	115
	307,500	232,200	271,800	207,600	259,660	336,000	51,600	1,666,300	2,174,510	m. 132

Tableau n° 7.

FABRIQUE DE MOUSTIER.

DATES.	SEL DÉCOMPOSÉ AU FOUR						Quantité totale de sel décomposé. — Kil.	ACIDE hydrochlorique livré au commerce et acide consommé dans l'usine. Kil.	ACIDE hydrochlorique par 100 kil. de sel. Kil.
	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.			
Septembre 1870 . .	»	7,000	24,750	18,250	43,750	45,000	138,750	186,120	134
Octobre.	»	35,750	8,000	23,750	24,500	16,000	108,000	137,528	127
Novembre	45,500	46,750	43,800	»	23,100	43,850	203,000	223,722	110
Décembre	55,000	55,800	55,800	»	6,000	54,900	228,000	271,060	120
Janvier 1871	34,500	54,850	54,900	11,700	»	55,800	211,750	262,000	123
Février	50,400	43,800	50,400	»	32,100	29,100	205,800	253,000	123
Mars	30,400	54,150	27,900	54,400	46,600	54,400	267,850	343,000	128
	216,300	298,100	265,550	108,100	176,050	299,050	1,363,150	1,676,430	m. 124

FABRIQUE DE RISLE.

Tableau n° 8.

DATES.	SEL DÉCOMPOSÉ AU FOUR						Quantité totale de sel décomposé. — Kil.	ACIDE hydrochlorique livré au commerce. Kil.	ACIDE hydrochlorique par 100 kil. de sel. Kil.
	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.			
Septembre 1870 . .	»	»	11,400	73,800	»	44,700	129,900	151,480	116
Octobre.	»	»	18,900	106,212	62,100	52,200	239,412	282,100	118
Novembre	»	»	19,200	87,300	83,700	45,600	235,800	252,000	106
Décembre.	41,100	»	53,100	95,850	87,300	41,100	318,450	128,800	40
Janvier 1871	52,800	46,800	54,900	103,950	109,800	51,900	420,150	210,000	49
Février	46,800	47,100	42,600	91,350	99,900	50,400	378,150	239,750	63
Mars	51,900	53,400	40,500	108,000	108,000	54,300	416,100	217,420	52
	192,600	147,300	240,600	666,462	556,200	340,200	2,137,962	1,484,550	m. 78

XI. — EXTRAITS DU RAPPORT PRÉSENTÉ A L'ASSEMBLÉE NATIONALE DE VERSAILLES, DANS LA SÉANCE DU 12 JUILLET 1871, AU NOM DE LA 5me COMMISSION CHARGÉE D'ÉCLAIRER CETTE ASSEMBLÉE SUR L'ÉTAT DES COMMUNICATIONS POSTALES ET TÉLÉGRAPHIQUES.

Le *Journal Officiel* de la République française (n° du 31 juillet 1871, donne la dernière partie de ce rapport, qui traite spécialement des mesures prises, pendant la guerre, pour faire concourir le télégraphe à la défense nationale, et de quelques questions administratives se rattachant à ce service.

Nous emprunterons à cette dernière partie quelques passages qui nous semblent d'application générale à tous les pays, et dont la reproduction peut être utile à titre de témoignage et de résultat d'expérience.

« Abus des dépêches officielles.

« La commission n'a pas cru devoir terminer son travail sur le service télégraphique sans parler de l'exagération du nombre et de la longueur des dépêches officielles.

» Pour prévenir des abus de ce genre, on avait indiqué dans la dernière discussion du budget au corps législatif, comme correctif, le payement effectif des dépêches par les administrations respectives, comme s'il s'agissait d'une dépêche privée (1).

» Mais ces abus ont pris dans le courant de la guerre un développement tel, que l'administration télégraphique a dû les signaler à la commission dans les termes suivants :

« La poste fut complétement abandonnée pour le télégraphe,
» et nous pouvons affirmer que, sans notre travail incessant et
» infatigable, aucun service public n'aurait pu fonctionner régu-

(1) Depuis que le télégraphe existe en Belgique, ce correctif a été maintenu par le gouvernement, et il a eu d'excellents effets. Au point de vue de la dépense et de la recette, c'est-à-dire, en ce qui concerne l'intérêt direct du trésor public, la mesure n'a aucun résultat, mais, au point de vue de la modération et de la concision dans les correspondances, elle prévient les abus, au grand avantage des correspondances du public, du travail administratif et des dépêches d'État elles-mêmes, qui passent d'autant plus vite qu'elles sont moins longues et moins nombreuses.

» lièrement, même pendant vingt-quatre heures. Tous les minis-
» tères, toutes les administrations nous rendront témoignage des
» énormes services rendus par le télégraphe. Pour nous, nous
» devons dire qu'on s'est servi de nous jusqu'à l'abus. Les télé-
» grammes devinrent de véritables lettres; les proclamations,
» les décrets, les arrêtés, tout fut porté à la connaissance des
» autorités et du public, sous forme de circulaires télégraphiques,
» au point d'absorber exclusivement toutes les ressources des
» lignes et de matériel et d'écraser notre personnel par un travail
» incessant.

» A Tours, depuis le 18 septembre jusqu'au 10 décembre, les
» bureaux télégraphiques furent pourvus de tout le matériel, de
» tout le personnel que la disposition des locaux permit de
» recevoir.

» Huit ou dix appareils Hughes furent installés et fonctionnèrent
» jour et nuit sur toutes les principales lignes, permettant de
» transmettre, par chaque fil, une moyenne de 400 dépêches par
» jour.

» A Tours, la moyenne des transmissions journalières s'éleva
» rapidement de 3,500 à 4,500, pour atteindre à Bordeaux celle
» de 5,000 et même de 6,000.

» Les exigences d'un semblable travail, s'appliquant à peu près
» exclusivement à la correspondance officielle, imposèrent la né-
» cessité de suspendre la télégraphie privée dans toute la France.
» On dut restreindre l'emploi du télégraphe aux questions d'ar-
» mement, d'équipement, de ravitaillement, et plus tard à celles
» intéressant les élections. Malgré ces restrictions, il nous fut
» impossible de donner satisfaction au public..... »

» Ce n'est pas seulement à ce point de vue que l'abus des dépêches officielles est blâmable, mais encore à celui de la bonne administration.

» Il peut être commode quelquefois de se retrancher derrière la brièveté d'une dépêche télégraphique pour se dispenser de donner les motifs d'un ordre ou les explications d'une mesure. Mais cette facilité de se soustraire à toute justification a aussi ses inconvénients. Un ordre bref peut être diversement interprété par le destinataire, de telle sorte que l'expéditeur échappe ainsi à la responsabilité de son exécution.

» Mais une administration sérieuse ne peut pas s'accommoder d'un mode d'opérer qui n'exige aucun dossier et ne laisse aucune trace des affaires. Ce n'est pas à coups de dépêche, sans examen préalable, sans exposé de motifs ou de production de preuves et de justifications, qu'on peut diriger une administration. Les employés du télégraphe font en ce cas l'office d'expéditionnaires de bureau, au grand détriment de la sécurité des affaires.

» Ce sont les ministères de la guerre et de l'intérieur, et après ceux-ci celui de la justice, qui ont le plus usé de la voie télégraphique, et l'on pourrait citer, dans le premier, des branches d'administration où la correspondance par lettre a été en quelque sorte supprimée (1).

» Des marchés importants ont été conclus et des ordres de payement ont été exécutés sur une simple dépêche qui pouvait être sujette à erreur.

» Les inconvénients ne sont pas moins grands quand des rapports confidentiels d'une nature délicate sont demandés par cette voie sur des chefs de service. Or la commission a su que des rapports de cette nature et des rapports de service, même fort longs, ont été transmis abusivement de cette façon.

. . . .

Réunion des postes et des télégraphes.

» La commission n'a pas cru devoir terminer son travail sans aborder l'étude d'une question pendante depuis plusieurs années : celle de la réunion du service des postes avec celui des télégraphes.

» Cette question, soulevée dès 1862 au Corps législatif, poursuivie chaque année, allait recevoir en 1864 sa solution, par une proposition de la commission du budget, lorsque, le jour fixé pour

(1) C'est surtout dans les circonstances graves que la prévoyance des fonctionnaires civils et militaires doit s'exercer de manière à réduire l'emploi du télégraphe aux cas réellement urgents et imprévus. Il est clair qu'en se laissant aller à faire passer toute la correspondance par cette voie, on l'encombre et on en supprime l'avantage pour les télégrammes réellement nécessaires.

la discussion, les ministres de l'intérieur et des finances, sur l'initiative du directeur général des lignes télégraphiques, nommèrent une commission mixte chargée d'étudier les moyens pratiques de la réunion des deux services.

» Mais, sans attendre l'avis de la commission, l'administration télégraphique, faisant acte de vitalité propre, procéda immédiatement, par l'envoi de circulaires et de projets de traités avec les communes, à l'organisation du service municipal, qui a pris depuis lors un assez grand développement.

» Cependant la commission mixte, dont se retirèrent quelques membres représentant l'administration de postes, ne se hâtant pas de terminer, fut mise l'année suivante, à l'époque de l'examen du budjet, en demeure de formuler des conclusions. Elle émit alors l'avis que si, dans les régions supérieures, la fusion était sinon impossible du moins très-difficile, elle présentait, au contraire, des avantages dans les régions inférieures, La commission déclara, au sujet des petits bureaux, ainsi que cela se pratiquait déjà dans les États voisins, que partout où le receveur des postes remplira les conditions nécessaires à l'exercice des deux fonctions, il sera utile de l'en investir.

» Et cependant, à cette époque, la réunion des deux services ne se recommandait, pour les communes, qu'au point de vue de l'économie du logement de l'agent télégraphique, et pour le public que par une réduction de personnel et un meilleur choix d'agents mixtes.

» *Avantages de cette réunion.* — Mais, depuis lors, deux faits importants se sont produits qui militent en faveur de la mesure. Nous voulons parler des mandats télégraphiques, créés par la loi du 4 juillet 1868, pour les envois d'argent, et de la franchise postale des dépêches télégraphiques, qui a été accordée à la suite du vote de cette loi.

» Les mandats télégraphiques doivent être pris par les intéressés dans le bureau de poste, quelquefois éloigné et quand il est ouvert, puis portés par eux (1) au bureau télégraphique, d'où

(1) Les mandats télégraphiques, institués en Belgique *depuis le* 1er *mai* 1865, sont émis à l'intervention du service des postes, mais ce service se charge de faire télégraphier le mandat, et l'envoyeur n'a pas plus de démarches à

l'émission en est télégraphiée au bureau de poste qui doit les payer. Il n'est pas nécessaire d'insister sur les complications qui naissent de ces deux actions séparées, sur la gêne qu'elles imposent au public, sur les entraves qu'elles apportent à l'accomplissement de mesures utiles, indispensables, pour la satisfaction des intérêts des populations.

» Il est évident qu'un seul et même agent, concentrant dans ses mains et sans déplacement l'exécution du travail, donnerait plus vite satisfaction au public. D'un autre côté, la responsabilité des erreurs entraînant perte pour le trésor serait mieux définie et plus efficace avec une seule administration.

» La franchise postale accordée aux dépêches adressées hors du lieu d'arrivée et portant la mention *poste*, réclame tout aussi impérieusement la concentration des deux services dans le même local, dans les mêmes mains. Il est certain que la transcription de la dépêche et sa transmission au bureau de poste, quelquefois éloigné, entraînent des délais qui peuvent occasionner à la dépêche, si les facteurs viennent de partir, un retard de 24 heures. Au contraire, si le bureau télégraphique est installé dans le local de la poste, lorsqu'on sera à une distance de 400 à 500 kilomètres de Paris, là où les facteurs, attendant le courrier de Paris, ne commencent leur tournée qu'à neuf ou dix heures du matin, il sera possible de recevoir, jusqu'à la dernière minute, des dépêches que ces facteurs emporteront immédiatement à destination.

» Indépendamment de ces deux raisons importantes, les partisans de la réunion estiment que l'essai des bureaux mixtes, actuellement au nombre de 125 sur 1164 bureaux municipaux, a été concluant et qu'il est aujourd'hui très-utile de poursuivre autant que possible, dans ces derniers bureaux, l'extension d'une mesure qui n'a donné lieu à aucune réclamation ni difficulté.

» Sur le nombre total des bureaux de postes, porté actuellement à 5,286, 5,016 appartenant aux classes des recettes simples ou des distributions se prêtent, dès à présent, avec la sanction de l'expérience, à la réunion des deux services. Dans les bureaux de

faire pour un mandat télégraphique que pour un simple mandat postal. Il y a lieu de remarquer que les mandats télégraphiques ont été institués en France par décret du 25 mai 1870. Ils devaient prendre cours en août, mais la guerre a fait ajourner cette amélioration.

cette nature, où une augmentation sensible de travail pour les préposés pourrait résulter de cette fusion, il suffirait d'allouer à ces préposés un supplément de frais d'aide.

» Resteraient donc 270 bureaux, dits composés, c'est-à-dire, dans lesquels le receveur est assisté par un ou plusieurs commis nommés par l'administration et recevant un traitement de l'État. Ces bureaux sont situés dans les villes où le mouvement de la correspondance postale est le plus considérable. C'est également dans ces centres que les transmissions télégraphiques sont le plus nombreuses.

» Là apparaît d'une manière incontestable l'avantage, comme en tout travail, d'agents spécialistes. L'intérêt du service exige donc de laisser à leurs bureaux respectifs le rapide trieur de lettres et l'habile manipulateur d'instruments.

» Dans ces 270 centres de grande correspondance, les bureaux resteraient plutôt juxtaposés que réunis, se prêtant un mutuel concours pour tous les travaux de correspondance, de caisse, qui n'exigent pas de forces physiques ou une aptitude spéciale.

» La juxtaposition, utile au service, pourrait entraîner certaines dépenses; mais il est juste de remarquer que ces 270 bureaux composés ne représentent que 5 p. c. du nombre total des bureaux de postes.

» *Objections de l'Administration télégraphique.*— L'administration télégraphique a présenté à votre commission diverses objections au projet de fusion absolue des deux services.

» Elle a fait remarquer que de la réception à la remise de la dépêche, tout diffère dans les opérations de ces deux services; qu'entre le mode d'échange de la poste et celui du télégraphe, il n'y a pas plus de trace d'analogie que dans le matériel. Elle a objecté que le contraste persiste dans toutes les fonctions des deux services et se retrouve dans les aptitudes des deux personnels, dans leur organisation hiérarchique, et jusque dans l'esprit directeur des deux administrations.

» Administrateur dans les postes, le chef de service au télégraphe est plutôt ingénieur (1).

(1) Ces observations sont justes, mais elles s'adressent à un mode de fusion qui n'est appliqué dans aucun pays, et qui consisterait à donner des attribu-

» L'administration télégraphique admet la réunion des deux services dans les petites localités, partout où la mesure sera reconnue possible, mais elle trouve indispensable de conserver, comme dans tous les États où existent les bureaux mixtes, l'autonomie des deux administrations. Elle a signalé l'Autriche qui, ayant voulu fusionner les deux services en un seul et les faire fonctionner par les mêmes employés, a été obligée d'y renoncer et de rendre bientôt à chaque service son autonomie. Elle déclare donc que la nature de son travail est exclusive de toute fusion, et que, si l'on cherche des économies, elles ne pourront s'opérer dans l'un et l'autre service que par des suppressions d'emploi, là où la quantité de travail serait insuffisante pour chaque agent.

» *Avis de la Commission.* — Votre commission, éclairée par les notes et les déclarations des chefs des deux services, s'est prononcée pour la réunion des deux administrations sous un chef unique. Elle a été mue par ces considérations que les deux administrations tendent au même but : qu'elles se complètent mutuellement comme les deux parties d'un même tout, qu'elles peuvent s'entr'aider en ce sens que le télégraphe peut venir instantanément en aide, par un avis, au service des postes en diverses circonstances, telles que le cas de fausse direction de dépêches ou l'application urgente des mesures de police.

» Elle pense également que la réunion des deux services sous la même direction procurera des économies et constitue le seul moyen pratique de donner au réseau cantonal le développement désiré par le commerce. Les ingénieurs du service télégraphique

tions à la fois postales et télégraphiques à tout agent quelconque appartenant au double service, quels que fussent son grade, son genre d'aptitude et la localité où il fonctionne.

Ce n'est pas ainsi que la fusion est pratiquée en Belgique, en Angleterre, en Bavière, en Suisse, dans le Grand-Duché de Bade, etc. Il y a, généralement, dans ces pays des fonctionnaires mixtes, soit au sommet de l'échelle hiérarchique où les affaires sont centralisées, soit dans les petites localités où un ou deux agents suffisent pour assurer les deux services. Entre les uns et les autres, des attributions plus ou moins nombreuses s'appliquent exclusivement à l'une des branches de la correspondance, soit par leur spécialité, soit parce que cette branche exige la totalité du temps et du travail du titulaire. Ces combinaisons, qui peuvent varier avec les pays, les localités et l'organisation générale de l'administration, ne sont sujettes à aucune des objections ci-dessus.

apporteraient à l'accomplissement de cette tâche leurs connaissances spéciales et fourniraient au recrutement des hauts emplois des deux administrations, des éléments nouveaux et supérieurs à certains titres.

» En résumé, cette réunion des deux administrations, dont la commission constate les avantages pour le public comme pour le service, comporterait la réunion dans les petites localités, c'est-à-dire, dans 95 p. c. des bureaux, la juxtaposition des services dans les plus grands centres, sous l'impulsion et la haute direction d'un chef unique.

» *Direction des deux services.*—Le principe de la réunion admis, diverses opinions se sont fait jour au sein de la commission sur les moyens pratiques d'en opérer l'application.

» L'adjonction des deux services, d'abord au ministère de l'intérieur, auquel on aurait ainsi donné une grande administration financière, puis au ministère des finances, déjà très-surchargé, a été successivement discutée et écartée.

Création d'un ministère spécial.—L'idée de la création d'un ministère spécial, réunissant les deux directions générales, a été appuyée par les considérations puissantes devant lesquelles la commission s'est arrêtée par crainte d'imposer au trésor de nouvelles charges. Cependant les partisans de cette idée ont pensé que le ministère de l'agriculture et du commerce, de création récente et dont le principal rôle est de répartir des subventions et d'étudier les tarifs, pouvait momentanément revenir au ministère des travaux et céder la place à une organisation d'une extrême importance dans l'ordre social.

» De grands efforts sont encore à faire, efforts financiers et intellectuels, pour donner au service télégraphique le développement déjà entrevu. Nous ne comptons que 1164 bureaux télégraphiques municipaux et nous possédons 5286 bureaux de postes.—Ne peut-on pas entrevoir un développement de bureaux télégraphiques, d'abord égal et puis double de ce nombre ? Est-il téméraire de prévoir que la télégraphie finira par pénétrer dans le quart de nos communes, qu'elle deviendra, dans un avenir prochain, un agent indispensable de la vie commerciale, administrative, politique et des relations de famille ? Cet avenir a déjà été annoncé dans les discussions publiques et exposé dans des docu-

ments officiels en regard de la rapidité du développement d'un service qui, après vingt-deux années d'existance, marquées par des hésitations et des tâtonnements, transmettait, en 1867, 3,733,083 dépêches, nombre qui s'est presque doublé depuis lors, autant par le développement des affaires que par la réduction de moitié du prix des taxes.

» Si le service est à peine entré dans la voie qui doit le rendre l'instrument indispensable des relations sociales, on ne peut supputer quelle somme de labeurs et de sacrifices est réservée à l'avenir.

» La réunion des deux administrations ne se fera pas dans la pratique sans des froissements, sans la pression ferme et résolue d'une autorité supérieure, impartiale et indépendante de l'un et l'autre services.

» Le développement du réseau télégraphique et la mise en mouvement de la double administration ont paru, à une partie de la commission, constituer une tâche importante et nouvelle. Cette tâche exigerait une autorité, un esprit d'initiative, une part d'influence dans les conseils du gouvernement, qui ne se trouve pas dans la position relativement subordonnée d'un directeur général.

» Cette partie de la commission a cru qu'un ministre uniquement occupé de cette œuvre, attaché particulièrement à son exécution, était plus en situation qu'un directeur général de la poursuivre et d'obtenir du conseil des ministres les moyens financiers de la mener à bonne fin. C'était, à ses yeux, le moyen de sortir des hésitations, des tâtonnements, des essais de divers systèmes, et d'imprimer par une vie propre, spéciale et distincte, à ce grand et double service des transmissions, l'impulsion et le développement qui doivent en faire l'instrument indispensable de toutes les relations sociales.

» Les partisans de cette solution offraient à l'appui l'expérience de divers États de l'Europe, tels que le Grand-Duché de Bade, la Suisse, les royaumes de Bavière, de Wurtemberg et de la Grande-Bretagne, où le service des postes forme des administrations indépendantes ou des départements ministériels.

» *Adjonction au ministère des travaux publics.*—Mais la solution qui a prévalu est celle qui rattache les deux administrations au ministère des travaux publics.

» Elle a été surtout dictée par cette considération que les meilleures dispositions arrêtées par la poste venaient échouer devant l'irrégularité de la marche des trains et leur défaut de concordance. Elle a pensé que pour obtenir une sanction et déterminer une responsabilité sérieuse, il importait de placer le service de la poste entre les mains du ministre qui a sous sa direction le service des chemins de fer.

» Les dispositions de service seraient alors concertées d'avance, les modifications seraient plus faciles, et les ordres plus promptement transmis.

» La majorité a pensé que cette combinaison, qui est déjà en application en Belgique, en Italie et en Suède, devait être l'objet des études prochaines du gouvernement.

» Telles sont, Messieurs, les conclusions sommaires de votre commission sur les points spéciaux soumis à son examen. »

DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

CHEMINS DE FER, MINES, ETC.

EMPIRE D'ALLEMAGNE.

Loi du 7 juin 1871 sur la responsabilité civile des exploitants de chemins de fer, de mines, ainsi que des fabricants, en cas d'accidents causant la mort ou des blessures aux personnes (1).

Nous, GUILLAUME, par la grâce de Dieu, empereur d'Allemagne, roi de Prusse, etc., ordonnons ce qui suit au nom de l'Empire d'Allemagne, le Conseil fédéral et les Chambres de l'Empire, entendus :

Art. 1er. — En cas de mort d'homme ou de blessure corporelle dans l'exploitation d'un chemin de fer, l'entrepreneur de cette exploitation est responsable du dommage, s'il ne prouve point que l'accident a été causé par force majeure ou par la faute personnelle du mort ou du blessé.

Art. 2. — L'exploitant d'une mine, d'une carrière, d'une

(1) Annexe au *Moniteur de l'Empire d'Allemagne et Journal officiel du royaume de Prusse*, du 14 juin 1871, n° 35.

minière, d'une fabrique est tenu du payement de dommages-intérêts, en cas d'accidents entraînant mort d'homme ou des lésions corporelles, survenus dans son exploitation, par suite d'inobservation des réglements, par la faute du gérant ou des préposés à la direction ou à la surveillance des travaux ou des ouvriers.

Art. 3. — Dans les cas prévus par les deux articles précédents, l'indemnité consiste :

1° En cas de mort, dans le payement des frais de la maladie et des funérailles, ainsi que dans le remboursement des pertes subies par le défunt pendant sa maladie, par suite de son incapacité totale ou partielle de travail.

Si le défunt, à l'époque du décès, avait charge légale d'entretenir d'autres personnes, ces dernières peuvent réclamer une indemnité du chef de la perte que leur cause ce décès.

2° En cas de blessure, dans le payement des frais de maladie et dans le remboursement de la perte subie par le blessé, par suite de l'incapacité temporaire ou permanente de travail causée par la blessure.

Art. 4. — Si le défunt ou le blessé était, par le fait de l'exploitant, au moyen de primes ou de versements quelconques, assuré contre l'accident dans une compagnie d'assurances, une société de secours mutuels ou toute autre du même genre, la somme à payer par ces sociétés est déduite du montant de l'indemnité, quand la contribution de l'exploitant dans ces sociétés n'est pas inférieure au tiers du total des versements.

Art. 5. — Les exploitants désignés aux articles 1 et 2 n'ont pas le droit d'annuler ou de restreindre à l'avance et à leur profit (au moyen de réglements ou de conventions spéciales) l'application des dispositions contenues dans les articles 1 et 3.

Toute stipulation contraire à ces prescriptions est de nulle valeur.

Art. 6. — Le tribunal prononce librement sur l'exactitude des faits allégués en tenant compte de l'ensemble des débats.

Il n'est dérogé en rien aux dispositions législatives concernant le serment, la production des actes publics ou des témoignages en justice.

Il appartient au tribunal d'apprécier s'il y a lieu de déférer le

serment à l'une des parties sur l'exactitude ou la fausseté d'un fait allégué. Il peut prescrire la preuve du dommage et de son montant, ou entendre les déclarations d'experts.

Art. 7. — Il appartient au tribunal de fixer le montant du dommage d'après sa libre appréciation, et en pesant toutes les circonstances ; de décider s'il y a lieu de fournir des garanties et d'en déterminer le mode et l'importance.

Lorsque les parties ne peuvent s'accorder sur le montant de la somme à payer, comme capital, il *peut* être alloué une rente pour entretien des personnes ou réparations des pertes.

La partie condamnée peut, en tout temps, réclamer la suppression ou la réduction de la rente, quand les circonstances qui ont déterminé la constitution et le montant de la rente ont été essentiellement modifiées dans l'intervalle. De même, la partie lésée, quand elle a fait valoir sa réclamation en dommages-intérêts dans le terme fixé par l'article 8, peut en tout temps réclamer l'augmentation ou le renouvellement de la rente, si les circonstances qui ont servi de base à la constitution, réduction ou suppression de la rente ont été essentiellement modifiées.

La partie lésée peut aussi réclamer postérieurement une caution ou une augmentation de cautionnement, si les moyens de la partie condamnée ont été réduits dans l'intervalle.

Art. 8. — Les réclamations en dommages-intérêts (art. 1 à 3) doivent être faites dans les deux années qui suivent la date de l'accident. Pour les personnes que le défunt avait à sa charge (art. 3, n° 1), le délai de prescription date du jour du décès.

La prescription à l'égard des mineurs et de ceux qui leur sont assimilés commence aux mêmes époques, sans que les droits prescrits puissent être rétablis.

Art. 9. — Il n'est rien modifié aux dispositions législatives antérieures d'après lesquelles, hors les cas prévus dans la présente loi, un exploitant ou toute autre personne, particulièrement dans l'exercice d'une industrie, est tenu responsable des pertes résultant de la mort ou des blessures provenant de sa faute.

Les dispositions des articles 3, 4, 6 à 8 sont également applicables dans ces cas, sans préjudice toutefois des dispositions législatives qui accorderaient une indemnité plus élevée.

Art. 10. — Les dispositions de la loi du 12 juin 1869 sur

l'établissement d'une Cour supérieure pour les affaires commerciales, ainsi que les mesures prises pour en régler l'action sont étendues aux litiges civils où les demandes en réparation et les oppositions sont fondées sur la présente loi ou sur des dispositions législatives mentionnées à l'article 9.

En foi de quoi, nous avons revêtu la présente loi de Notre signature et du cachet impérial de Nos armes.

Donné à Berlin, le 7 juin 1871.

GUILLAUME.

Prince DE BISMARK.

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS.

Personnel. (1)

I.

ADMINISTRATION CENTRALE.

M. **MONCHEUR** (F.), O. ✠, membre de la chambre des représentants, ministre des travaux publics.

Cabinet du ministre.

M. Alvin (L), sous-ingénieur des mines, attaché au cabinet.

SECRÉTARIAT GÉNÉRAL.

MM. N., secrétaire général.
Grenon (J.), ✠, directeur.
Dupont (E.), ✠, chevalier de l'ordre de Charles III, directeur.
Delbarre (E.), chef de bureau de 1re classe.
Lacomblé (E.), décoré de l'ordre de Saint-Stanislas de 3e classe, chef de bureau de 1re classe.
Beauvois (F.), id. id.

Régie des chemins de fer.

MM. Grenon (J.), ✠, directeur.
Haenen (G.-S.-A.), chef de bureau de 1re classe.
Lebens (J.-L.), id. id.
Goodman (G.), contrôleur-payeur.
Fain (A.), id. id.
Ruyters (J.), id. id.
Goossens (C.-F.), id. id.
Adan (V.), id. id.
Libens (L.), id. id.

Surveillance des chemins de fer concédés en exploitation.

MM. Eyckholt (P.-A.), O. ✠, ✠, chevalier de 4e classe de l'Aigle rouge de Prusse et chevalier du Mérite civil de Saxe, inspecteur général, directeur.
Rummens (J.-B.), ✠, inspecteur de 1re classe.

(1) 1er décembre 1871.

MM. **Lenoir** (J.), ingénieur en chef de 2e classe.
Nyssens (V.), inspecteur de 2e classe.
Schapen (L.), contrôleur de 1re classe.

Administration des ponts et chaussées et des mines.

MM. **Groetaers** (G.-N.), O. ✠, ✠, C. ✠, directeur général.
Dejaer (A.), ✠, ingénieur en chef, directeur.

Inspection générale des ponts et chaussées.

MM. **Maus** (H.), C. ✠, C. des ordres des SS. Maurice et Lazare et de la Couronne de Chêne, inspecteur général.

Inspection générale des mines.

MM. **Jochams** (F.), O. ✠, inspecteur-général.
Witmeur (H.), sous-ingénieur.

Direction des routes et bâtiments civils.

MM. **Lavallée** (A.), O. ✠, C. de l'ordre des SS. Maurice et Lazare, directeur.
Coomans (C.-E.-J), chef de bureau de 1re classe.

Direction des travaux hydrauliques, des chemins de fer en construction et de l'entretien des chemins de fer concédés.

MM. **O'Sullivan** (E.-P.), O. ✠, commandeur de l'ordre de la Couronne de Chêne, décoré de 3e classe de l'ordre impérial du Medjidié, directeur.
Rosendahl (S.), ✠, ✠, directeur.
Vlaminck (A.), chef de bureau de 1re classe.

Direction des mines, du personnel et des affaires générales.

MM. **Verbrugghen** (A.), O. ✠, directeur.
Warzée (A.), chef de bureau de 1re classe.

Administration des chemins de fer, postes et télégraphes (1).

M. Fassiaux (A.-C.), O. ✠, G. O. ✠, C. des ordres de François-Joseph, de la Couronne de Chêne, du Christ, du Danebrog, de la branche Ernestine de Saxe, de la Guadeloupe, de la Rose du Brésil et de l'ordre de Gustave Wasa de Suède, décoré de l'ordre de 2e classe de la maison d'Hohenzollern, chevalier de 1re classe de l'ordre de Saint-Michel, chevalier de 2e classe avec plaque de l'Aigle rouge de Prusse, chevalier d'Albert le Valeureux et de Saint-Stanislas de Russie de 2e classe, décoré de 3e classe de l'ordre du Medjidié, directeur général.

Adjoints : MM. les inspecteurs généraux Vinchent (J.-L.-F.-V.-J.-G.), O. ✠, ✠, chevalier de l'ordre de Charles III d'Espagne, décoré de la 3e classe de l'ordre de la Couronne royale de Prusse, et Belpaire, O. ✠, O. ✠, O. de l'ordre de la Couronne de Chêne.

Inspections générales.

MM. Cabry (H.), C. ✠, ✠, décoré de l'ordre du Medjidié de 3e classe, inspecteur général du service technique.

Attaché : Barlet (A.-A.), ingénieur de 2e classe.

Janssens (J.-J.-G.), O. ✠, commandeur de l'ordre de Charles III, inspecteur général des services de contrôle.

Van der Sweep (F.), O. ✠, O. ✠, commandeur de l'ordre des SS. Maurice et Lazare, et de l'ordre de Charles III, décoré de la 3e classe de l'ordre de la Couronne royale de Prusse, inspecteur général du service d'exploitation.

Attaché : Thiebaut (J.-H.), chef de bureau de 1re classe.

(1) L'organisation résultant de la présente répartition n'est exécutoire qu'à partir du 1er janvier 1872.

M. **Bronne** (L.), ✠, ✠, officier de l'ordre de la Couronne de Chêne, chevalier de l'ordre de Charles III, chevalier de 3e classe de l'ordre de l'Aigle rouge de Prusse; inspecteur général du service des postes.

I. *Service général dirigé personnellement par le directeur général.*

MM. **Lepère** (P.-N.), inspecteur de direction.
Tinne (L.-H.-P.), chef de division de 2e classe.
Salmon (C.-J.), chef de bureau de 1re classe, faisant fonctions de chef de division.
Olivier (E.), chef de bureau de 2e classe.
Martinet (A.-H.-A.), chef de bureau de 2e classe.

II. *Service des renseignements et de la statistique générale.*

MM. **Goffaux**, ✠, directeur.
Dandelin, inspecteur de direction.
N., chef de bureau.

III. *Voies et travaux.*

MM. **Dedier** (F.), ✠, ingénieur en chef-directeur.
Dubois (A.-A.-L.), ingénieur de 1re classe, faisant fonctions d'inspecteur de direction.
Erneste (V.-M.), chef de division de 2e classe.
Rodembourg (F.-E.), chef de bureau de 1re classe.
Delpierre (C.-J.), id. de 2e classe.
Feys, id. de 1re classe.

IV. *Traction et matériel.*

MM. **Gobert** (L.-A.-J.), O. ✠, ✠, ingénieur en chef faisant fonctions de directeur.
Maurissen (L.-H.), ✠, ingénieur en chef-inspecteur de direction.

MM. Baillieu (F.-F.-D.), inspecteur de 2e classe.
Stévart (A), ingénieur de 1re classe.
Claes (A.) sous-ingénieur.
Voué (P.-A.-A.), chef de bureau de 2e classe.
Penant (J.-L.-A.), id. id.

V. *Exploitation.*

MM. Mongenast (C.-P.), O. ✠, chevalier de 3e classe de l'ordre de l'Aigle rouge de Prusse, directeur.
Evrard (H.-J.), ✠, inspecteur de direction.
André (L.), ✠, O. de l'ordre de la Couronne de Chêne et de l'ordre des Guelphes, chevalier de l'ordre des SS. Maurice et Lazare et de l'ordre de Henri-le-Lion, directeur à titre personnel (1).
Lapierre (M.-A.-J.), ✠, inspecteur de 1re classe.
Desamblanx (P.-J.-E.-P.), ✠, inspecteur de 1re classe.
Van der Elst (J.-J.), chef de division de 2e classe.
Demeuse (V.-O.-J.), id. id.
De Smet (A.-P.), chef de bureau de 1re classe.
Waver (N.), id. id.
Cutsaert (J.-P.), id. id.
Nys (J.-B.), id. de 2e classe.
Albo (A.), id. id.
Vellut (F.-J.-C), ✠, id. à titre provisoire.
Garnir, id. de 2e classe.
Van Nieuwkuyck (J.-P.-T.), ✠, contrôleur de 1re classe.
Van Espen (F.), contrôleur de 2e classe.
Cutsaert (A.-L.-V.), id. id.
Mertens (C.-F.-A.), id. id.
Soete (Ed.), vérificateur.
Pissens (A.-A.), id.

VI. *Postes.*

MM. Michaux (A.-J.), ✠, officier de l'ordre de la Rose du Brésil, directeur.

(1) Détaché au cabinet du ministre.

MM. GIFE (F.-J.), ✠, officier de l'ordre de la Rose du Brésil, chevalier de l'ordre de la Couronne de Chêne, inspecteur de direction.
STASSIN (L.), chef de bureau de 1re classe, faisant fonctions de chef de division.
GARANT (J.-F.), chef de bureau de 1re classe.
SAMMELS (P.-J.), id. id.
HESPEL (P.-H.-L.), id. de 2e classe.

VII. *Contrôle des recettes.*

MM. VANDERZANDEN (C.-A.-C.), O. ✠, chevalier de l'ordre du Christ de Portugal, directeur.
DEMANET (C.-E.), inspecteur de direction.
RENSON (V.-F.-F.), chef de bureau de 2e classe.
VAN LANGENHOVE (J.-A.), id. de 1re classe.
GRAM (P.-H.-P.-A.), id. de 2e classe.
DE HENEFFE (A.-X.), id. id.
KUHN (F.-G.), id. id.
SOYER (C.-F.-P.), vérificateur.
PIERS (L.-J.-J.), id.
JACQUES (J.-J.-T.), id.
DELVEAUX (J.-M.), id.
GILLIEN (L.-J.), id.
ROTTHIER (J.-L.), id.

VIII. *Contrôle des matières.*

MM. DEGRELLE (E.), ✠, décoré de l'ordre du Medjidié de 3e classe, directeur.
MATHIEU (J.-P.-H.), ✠, inspecteur de direction.
PARIS (F.-P.-N.), vérificateur.
DE MAETER (J.-F.), id.
VAN DYCK (E.-J.), id.

IX. *Télégraphes.*

MM. Girardin (J.-M.), ✠, chevalier de 3e classe de l'ordre de la Couronne de Prusse, chevalier de l'ordre du Christ de Portugal, faisant fonctions de directeur.
Colinez (C.-J.), chef de bureau de 2e classe.
De Buck (A.-C.-D.), id. id.
Belleroche (F.-G.-A), vérificateur.
Wolles (J.-N.), id.
Van Weddingen (J.), id.

II.

CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES.

INSPECTEURS GÉNÉRAUX.

	DATE DE LA PROMOTION.
MM. Maus (H.-J.), C. ✠, C. de l'ordre des SS. Maurice et Lazare, C. de l'ordre de la Couronne de Chêne.	16 janvier 1868.
Wellens (F.), O. ✠, ...	idem.

INGÉNIEURS EN CHEF DE 1re CLASSE.

MM. Desart (H.-G.), O. ✠, ✠, en congé.	29 octobre 1850.
Dumon (C.), O. ✠, ✠, O. de l'ordre de la Couronne de Chêne. . .	16 janvier 1868.
Dejaer (A.), O. ✠	idem.
Carez (M.), O. ✠	15 décembre 1868.
Zuber (F.), ✠, décoré de l'ordre de St.-Stanislas de 3e classe . . .	idem.
Cognioul (J.), O. ✠, ...	23 avril 1870.

INGÉNIEURS EN CHEF DE 2e CLASSE.

MM. Bernard (J.-B.) ✠.	16 juillet 1867.
Crépin (L.), ✠	16 janvier 1868.
Boudin (E-J.), ✠, professeur à l'école du génie civil	15 décembre 1868.

	DATE DE LA PROMOTION.
MM. ANDRIES (CH.), ✠, professeur à l'école de génie civil	15 décembre 1868.
MORELLE (H.) ✠	idem.
ROMBAUX (J.-B.), honoraire, en congé illimité	idem.
LECLERC (F.-C.-G.)	28 avril 1869.
LAMAL (T.)	28 avril 1870.
PINSARD (H.-J.), ✠	21 octobre 1871.

INGÉNIEURS DE 1re CLASSE.

MM. SPLINGARD (F.), en congé illimité .	29 juillet 1845.
[illegible] (TH.), ✠	1er février 1850.
LEBENS (T.)	10 avril 1853.
MASSON (S.), ✠	21 mai 1854.
GODDYN (L.), en congé illimité . .	idem.
LAURENSIUS (B.)	2 juin 1861.
GROSFILS (J.), ✠ ✠	idem.
LAMBERT (T.)	3 juin 1861.
ANDRIES (J.)	29 juin 1866.
VANSCHOUBROECK (L.) ✠	16 janvier 1868.
CRESPELLE (J.), en disponibilité .	idem.
TROUET (G.)	15 décembre 1868.
DE BRUYN (D.)	idem.
LECLERC (J.-M.), O. ✠, ✠, décoré de l'ordre de St.-Stanislas, inspecteur général de l'agriculture et de la voirie vicinale au ministère de l'intérieur	idem.
BERGER (L.)	idem.
DECLERCQ (G.)	25 août 1869.
STOCKMAN (H.)	idem.
LABYE (CL.), décoré de la 5e classe de l'ordre impérial du Medjidié .	23 avril 1870.
BROECKHANS (J.)	11 février 1871.
PIENS (E.)	9 novembre 1871.

	DATE DE LA PROMOTION.
INGÉNIEURS DE 2e CLASSE.	
MM. DE RAEVE (F.)	29 mai 1866.
MARCQ (A.), ✠, attaché au ministère de la justice	idem.
DE MATTHYS (H.-R.)	16 janvier 1868.
WOLTERS (G.), professeur à l'école du génie civil	idem.
SYMON (A.)	idem.
DEROTE (L.), en congé illimité. .	14 octobre 1868.
DE MUNTER (CH.)	idem.
DUFOUR (A.)	idem.
RYCX (J.)	15 décembre 1868.
DE BEIL (A.)	idem.
HANS (M.)	25 août 1869.
PIROT (L.)	23 avril 1870.
DE HEEM (C.)	idem.
MAILLIET (T.)	14 février 1871.
KUMPS (G.).	idem.
TROOST (P.-J.).	idem.
DE PAUW (G.).	idem.
LAHAYE (CH.)	6 novembre 1871.
INGÉNIEURS DE 3e CLASSE.	
MM. DRUGMAND (D.), en congé illimité .	1er février 1850.
BUREAU (TH.), en disponibilité sans traitement	26 avril 1859.
VERSTRAETEN (TH.), en disponibilité, professeur à l'université de Gand.	15 mars 1864.
FENDIUS (E.)	25 août 1869.
BOVIE (E.).	23 avril 1870.
VAN MOERE (E.)	14 février 1871.
LAGASSE (CH.).	idem.
JONIAUX (H.)	14 février 1871.
DE GROOTE (F.)	idem.
DETHIEU (A.)	idem.

	DATE DE LA PROMOTION.
SOUS-INGÉNIEURS.	
MM. Dauge (J.-F.), en disponibilité, professeur à l'université de Gand. .	27 octobre 1852.
Blancquart (D.)	24 juillet 1869.
Prisse (F.).	idem.
Pierrot (J.-A.)	idem.
De Mey (P.-C.)	idem.
Verhaegen (A.)	14 décembre 1870.
De Burlet (C.)	idem.
Belpaire (T.)	idem.
Royers (G.)	idem.
Depermentier (L.), en disponibilité, répétiteur à l'école du génie civil.	27 août 1871.
Dever (A.), en disponibilité, répétiteur à l'école du génie civil . .	idem.
Deschryver (F.), en disponibilité, répétiteur à l'école du génie civil.	idem.
CONDUCTEURS PRINCIPAUX.	
MM. Jonckheere (H.)	2 juin 1861.
Diegerick (F.), ✠	idem.
Trouet (J.), ✠	idem.
Braibant (Ch.), ✠	idem.
Pierart (E.), ✠	idem.
Groulard (V.).	idem.
Dupont (J.-P.).	30 juin 1863.
Mallet (V.)	idem.
De Aguilar (T.)	idem.
Simonis (P.)	idem.
Descamps (V.)	30 mai 1865.
Carpentier (D.), chevalier de l'ordre de la Couronne de Chêne, attaché au ministère de la justice. . .	1er juin 1865.
Renaud (H.)	23 décembre 1865.
Wantzel (P.)	idem.
Silvais (M.)	15 décembre 1868.

	DATE DE LA PROMOTION.
MM. SERESIA (M.-A.)	29 septembre 1869.
DETHY (J.-B.)	29 septembre 1869.
MAERTENS (J.)	idem.
GUILMOT (J.)	idem.
GOEDERT (C.)	idem.
LUMEN (L.)	idem.

CONDUCTEURS DE 1re CLASSE.

MM. BASSE (E.)	10 avril 1853.
DE GRENY (L.), en congé illimité	idem.
DELGOTAL (A.-J.)	26 avril 1854.
DEFAWE (E.-J.)	25 mars 1855.
DECREEFT (L.-C.)	14 juillet 1856.
PETIT-JEAN (P.-J.)	idem.
MOREAU (P.-J.)	idem.
MICHAUX (J.)	idem.
POPPE (J.-B.)	idem.
HEYMANS (F.-A.)	idem.
TRAETS (D.), attaché à l'école du génie civil	26 avril 1859.
RICAILLE (J.)	idem.
CAMBIER (A.)	idem.
BESME (J.)	idem.
GIROUX (L.)	idem.
GEVAERT (J.), conducteur principal honoraire	idem.
ROSSEELS (J.), conducteur principal honoraire	idem.
SCHANUS (W.)	30 juin 1863.
BESSELING (N.), en disponibilité	idem.
TOEFFAERT (C.)	idem.
VIEUXJEAN (T.-J.)	30 mai 1865.
LEJEUNE (H.)	30 mai 1865.
COURTOIS (H.)	idem.
LALLEMENT (R.)	23 décembre 1865.

	DATE DE LA PROMOTION.
MM. Dispaux (J.-L.).	23 décembre 1865.
Waeghemans (E.)	idem.
Bekaert (F.-M.)	idem.
Segers (J.-B.), attaché à l'école du génie civil	27 mars 1866.
Misonne (A.-P.)	24 novembre 1866.
Lambert (A.-J.)	8 mars 1867.
Vergauwen (C.-L.)	15 décembre 1868.
Groulard (C.).	idem.
Joannes (N.-J.)	idem.
Hanus (F.).	idem.
L'Heureux (V.)	idem.
Baetens (F.)	29 septembre 1869.
Paheau (L.)	idem.
Dubois (F.).	idem.
Lallemand (J.-J.-V.)	23 avril 1870.
Heymans (V.-J.) attaché à l'école du génie civil	14 février 1871.
Baurin (L.).	idem.
Trouet (A.) ✠	idem.
Leenaert (J.)	15 mai 1871.
Seyler (H.)	4 août 1871.
Vandenabeele (V.)	14 septembre 1871.

CONDUCTEURS DE 2e CLASSE.

MM. Guinotte (J.), en congé illimité. .	21 juin 1844.
Claes (E.), en congé illimité . .	11 septembre 1850.
De Radiguès (F.), en congé illimité.	2 juin 1861.
Fumière (J.).	3 juin 1861.
De Bouck (L.).	idem.
Richir (F.).	idem.
Huet (C.)	idem.
Pasque (A.)	idem.
Velghe (G.)	idem.
Vercammen (F.)	30 juin 1863.
Goffinet (J.)	30 mai 1865.
D'Anvers (G.)	idem.

	DATE DE LA PROMOTION.
MM. Coster (W.)	30 mai 1865.
Poncelet (J.)	23 décembre 1865.
Van Impe (A.)	idem.
Cruls (F.)	23 décembre 1865.
Cambier (L.)	idem.
Blonden (F.)	idem.
Deplanque (A.)	idem.
Schottey (G.)	idem.
Miroir (F.).	24 novembre 1866.
De Meurisse (C.)	27 mai 1871.
Backeljau (F.).	idem.
Poncelet (L.)	8 mars 1867.
Burnotte (J.)	15 décembre 1868.
Vanstaen (E.)	idem.
Monin (L.).	29 septembre 1869.
André (C.)	idem.
Lebens (V.-G.)	idem.
Soreil (T.).	23 avril 1870.
Sancy (E.)	idem.
Jegers (J.).	idem.
Pillement (J.).	14 février 1871.
Jaumin (D.).	idem.
Deprume (O.)	idem.
Fanard (F.)	idem.
Humblé (H.)	15 mai 1871.
L'Hote (E.)	14 septembre 1871.

CONDUCTEURS DE 3e CLASSE.

MM. Poncelet (L.), en disponibilité . .	26 mai 1836.
Tielemans (F.), en congé. . . .	11 février 1840.
Hetten (Th.)	10 avril 1841.
Vander Elst (C.), en congé. . .	idem.
Guillery (Th.), en congé	27 février 1846.
Vander Elst (L.), en congé illimité,	1er février 1850.
De Maesschalck (M.), en congé .	21 mars 1852.

	DATE DE LA PROMOTION.
MM. Grignet (E.)	20 janvier 1866.
Waxweiler (A.)	idem.
Englebert (A.)	20 janvier 1866.
Toeffaert (D.)	24 novembre 1866.
Lanser (H.)	idem.
Nepper (E.)	idem.
Scoyer (E.)	21 décembre 1867.
Devuyst (F.)	idem.
Simonis (E.)	19 février 1868.
Papier (J.)	idem.
Destrée (C.)	7 août 1868.
Van Noten (A.)	idem.
Wauthy (A.)	21 décembre 1868.
Baey (J.)	idem.
Page (J.)	idem.
De Cazenave (C.)	idem.
Huybrigts (F.)	idem.
Destoop (G.)	17 septembre 1869.
Launoy (J.)	17 février 1870.
Bonamis (F.)	10 mars 1870.
Hubaut (F.)	13 août 1870.
Perleau (C.)	14 septembre 1870.
Jacoby (G.)	idem.
Roger (F.)	15 mai 1871.
Van Vinckeroy (G.)	12 septembre 1871.
Lemaire (H.)	30 novembre 1871.
Gilet (C.)	idem.
Goeders (J.)	idem.

ARCHITECTES.

MM. Willame (E.)	8 juin 1870.
Goovaerts (P.)	idem.

ARCHITECTES-ADJOINTS.

MM. Sterckx (F.)	8 juin 1870.
Debruyn (P.)	idem.

Conseil des ponts et chaussées.

Président : **Groetaers**, directeur général des ponts et chaussées et des mines.

Membres : **Maus**, inspecteur général.

Le directeur a l'administration centrale dont le service est en cause.

Les ingénieurs en chef, directeurs des ponts et chaussées, chargés de la direction du Brabant et du service spécial de la Senne et du canal de Charleroi à Bruxelles.

Deux ingénieurs en chef, à désigner chaque année par le ministre.

Secrétaire : **De Jaer**, ingénieur en chef directeur de 1re classe.

Le conseil se réunit sur la convocation du ministre. Il donne son avis motivé sur les projets, questions d'art, ainsi que sur les propositions d'avancement des membres du corps des ponts et chaussées.

Il soumet au ministre toute proposition que lui dicte l'intérêt du service.

Comité permanent consultatif.

Président : **Groetaers**, directeur général.

Membres : **Maus**, inspecteur général.

Le directeur a l'administration centrale dont le service est en cause.

Les ingénieurs en chef, directeurs des ponts et chaussées, chargés de la direction du Brabant et du service de la Senne, etc., à Bruxelles.

Secrétaire : **De Jaer**, ingénieur en chef directeur de 1re classe.

Le comité donne son avis motivé sur les projets, questions d'art ou toutes autres que le ministre ou le directeur général lui soumet.

III.

CORPS DES MINES.

SECTION D'ACTIVITÉ.

INSPECTEUR GÉNÉRAL.

	DATE DE LA PROMOTION.
M. **Jochams** (F.), O. ✠	16 mai 1869.

DATE DE LA PROMOTION.

INGÉNIEURS EN CHEF.

MM. Rucloux (F.), O. ✠.	23 juin 1866.
Laguesse (E.) ✠	16 mai 1869.

INGÉNIEURS PRINCIPAUX.

MM. Van Scherpenzeel-Thim, ✠. . . .	30 juin 1863.
Hamal (Ch.)	15 mars 1864.
Lambert (Ch.), ✠, ...	12 août 1865.
Flamache (V.).	1er décembre 1865.
Geoffroy (A.), ✠, chevalier de l'ordre d'Albert le Valeureux. . .	20 août 1866.
Deflandre (L.)	idem.
Beaujean (J.-A.), ✠	idem.
Berchem (F.)	16 mai 1869.

INGÉNIEURS ORDINAIRES.

MM. Clement (Ch.).	15 août 1860.
De Simony (H.)	idem.
Bougnet (E.)	idem.
Arnould (G.)	30 juin 1863.
Gille (J.)	idem.
Timmerhans (L.)	idem.
Hamal (B.)	12 avril 1864.
Dupont (F.).	12 août 1865.
Depoitier (E.)	idem.
Jottrand (A.)	1er décembre 1865.
Harzé (E.)	20 août 1866.
Malherbe (D.-J.)	idem.
De Jaer (E.)	idem.
Firket (A.)	23 juillet 1868.
De Jaer (J.)	16 mai 1869.

SOUS-INGÉNIEURS.

MM. Gérard (D.)	11 août 1856.
Defize (E.).	idem.

	DATE DE LA PROMOTION.
MM. Ransy (A.)	11 août 1856.
Scarcériaux (L.-J.)	idem.
Dawance (J.-A.)	idem.
Mueseler (G.)	idem.
Smeysters (J.)	6 août 1862.
Franquoy (F.)	idem.
Guchez (F.)	12 avril 1864.
Willem (P.)	22 février 1865.
Schorn (G.)	30 août 1865.
Dubiez (Th.)	1er décembre 1865.
Thonard (L.)	20 août 1866.
Bertrand (R.)	10 septembre 1866.
Malisoux (E.)	idem.
Orman (E.)	26 août 1867.
Witmeur (H.), attaché au ministère des travaux publics	21 décembre 1867.
Dutreux (L.)	16 janvier 1869.
Alvin (L.-C.-E.)	24 juillet 1869.
Fineuse (C.-C.-S.)	14 décembre 1869.
Roberti-Lintermans (F.)	12 juin 1871.
Dejardin (L.)	24 novembre 1871.

SECTION DE DISPONIBILITÉ.

MM. Dumont (A.), ingénieur ordinaire .	12 octobre 1856.
Chaudron (J.), O. ✠, ✠, idem. .	idem.
De Vaux (B.), idem. .	15 août 1860.
Godin (A.), idem. .	idem.
Lambert (G.), ✠, sous-ingénieur. .	11 août 1856.
Castelain (L.), idem. . . .	idem.
Sadin (A.), idem. . . .	idem.
Ziane (H.), idem. . . .	idem.
Micha (L.), idem. . . .	idem.
Collette (C.), idem. . . .	idem.
Polis (J.-H), idem. . . .	idem.

Conseil des mines.

Président : M. **Vinchent** (J.-H.-D.), C. ✠, 29 mai 1858.
Conseillers : MM. **Visschers** (A.), O. ✠, 10 août 1845.
Chicora (L.-C.-A.), ✠, 2 septembre 1859.
Koeler (J.-B.-A.), ✠, chevalier de l'ordre de la Branche Ernestine de Saxe, 14 décembre 1861.
Willaumez (L.-J.) ✠, 17 septembre 1870.

Conseillers honoraires :
MM. **D'Otreppe de Bouvette** (A.-M.-J.), O. ✠, chevalier de l'ordre des SS. Maurice et Lazare, 13 novembre 1838.
Verdeyen (F.), ✠, chevalier de l'ordre des SS. Maurice et Lazare et de l'ordre du Christ, 2 octobre 1843.
Dupont (A.-E.), ✠, chevalier de l'ordre de Charles III, 27 octobre 1859.
Dolez (E.), ✠, 21 juillet 1866.

Greffier : M. **Dupont** (M.-F.), 17 septembre 1870.

Conseil des ingénieurs des mines.

COMPOSITION DU CONSEIL.

Président : **Groetaers** (G.-N.), directeur général des ponts et chaussées et des mines.
Membres : **Jochams** (F.), inspecteur général.
Laguesse (E.), ingénieur en chef de la 1re direction.
Rucloux (F.-A.-J.), ingénieur en chef de la 2e direction.
Un ou plusieurs ingénieurs principaux, à désigner chaque année par le ministre.
Secrétaire : Le directeur de la direction des mines et du personnel à l'administration centrale.

IV

RÉPARTITION DES FONCTIONNAIRES DU SERVICE ACTIF DE L'ADMINISTRATION DES CHEMINS DE FER, POSTES ET TÉLÉGRAPHES.

SERVICE DES VOIES ET TRAVAUX.

Service des lignes.

Surveillance et entretien de la voie ; travaux de terrassement et d'assèchement ; nivellement ; renouvellement des billes et rails ; établissement de voies de raccordement et d'évitement ; entretien des ponts tournants, plates-formes, excentriques, ponts à peser, appareils à signaux, etc. ; entretien, amélioration et parachèvement des tunnels, viaducs, acqueducs, ponts fixes, murs de clôture et de soutènement, etc. ; entretien des bâtiments, ateliers, remises, magasins, hangars, gares couvertes, auvents. ; projets : plans d'ensemble avec profils, plans de détail pour l'exécution, détails estimatifs, clauses et conditions des entreprises, etc. ; réception des travaux et fournitures ; délimitations de terrains ; instruction des demandes d'autorisation de bâtir et de planter à proximité de la voie et des stations ; surveillance des voies de raccordement ; plantations sur les dépendances du railway ; entretien des lignes télégraphiques ; mesures d'initiative commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte, sur-le-champ, au ministre, etc.

1er *Groupe* (1).

M. Lamquet (G.-E.-H.), ✠, ingénieur principal de 1re classe, chef de service.

Adjoint : M. Bemelmans (E.-F.), ingénieur.

Id. : M. Derudder (Ed.), sous-ingénieur.

1re *Section.* — *Bruxelles* (Nord) à Anvers. — Ligne des boulevards à Bruxelles. — Raccordement du Luxembourg. — *Contich* à Lierre.

M. Van Mierlo (C.-H.), ingénieur chef de section à Malines.

2e *Section.* — *Malines* à la bifurcation de Melle. — Bifurcation de la *rue des Palais* à Schellebelle. — *Alost* à Lokeren.

M. Van de Velde (J.-H.-V.), chef de section, à Termonde.

3e *Section.* — *Malines* à Tirlemont. — Bifurcation de *Schaerbeek* à Louvain.

M. Stevens (J.-J.), chef de section à Louvain.

(1) 1er *Groupe*, ayant son centre à Bruxelles (Nord.)
Ligne des boulevards à Bruxelles. — *Bruxelles* à Anvers et à Lierre. — *Malines* à Melle. — *Bruxelles* (rue des palais) à Schellebelle. — *Alost* à Lokeren. — *Malines* à Tirlemont. — *Schaerbeek* à Louvain.

N. B. Les stations en italiques ne font pas partie des groupes dans lesquels elles figurent.

2e *Groupe* (1).

M. Dutilloeul (O.-P.-J.), ingénieur principal de 1re classe, faisant fonctions de chef de service.

Adjoint : M. Bozet (L.-E.-J.), sous-ingénieur.

1re *Section.* — *Tirlemont* à Landen et *Tirlemont* à Namur.

M. Copis (C.), chef de section à Tirlemont.

2e *Section.* — *Landen* à Ans et *Landen* à Gembloux.

M. Vieuxjean (C.-L.), chef de section, à Landen.

3e *Section.* — *Ans* à Welkenraedt et au Bleyberg et chemin de fer industriel du charbonnage du Hasard.

M. Lejeune (H.-J.), ingénieur, chef de section, à Liége.

3e *Groupe* (2).

M. Vogelaere (E.), ingénieur de 1re classe, chef de service.

Adjoint : M. Sarton (A.-M.-A.-J.), sous-ingénieur.

1re *Section.* — Bifurcation de *Melle* à Ostende.

M. Gondry (H.-E.), ingénieur, chef de section à Gand.

2e *Section.* — Bifurcation du *Strop* à la bifurcation de la ligne de Renaix près de Courtrai. — Bifurcation de *Melle* à la bifurcation de Nederboulaere (Grammont.)

M. Kestremond (F.-J.), chef de section, à Gand.

3e *Section.* — Bifurcation de *Denderleeuw* à la bifurcation de Courtrai, non-compris la station de Sotteghem. — *La Pinte* à la bifurcation de Leuze.

M. Cambrelin (C.), faisant fonctions de chef de section, à Audenaerde.

4e *Groupe* (3).

M. Raemaeckers (C.-H.-B.), ingénieur de 1re classe, chef de service.

Adjoint : M. Mathieu (E.-J.), sous-ingénieur.

(1) 2e *Groupe*, ayant son centre à Liége.
Tirlemont à Welkenraedt. — *Tirlemont* à Namur. — *Landen* à Gembloux.

(2) 3e *Groupe*, ayant son centre à Gand.
Melle à Ostende. — *Gand* à Courtrai. — *Melle* à Grammont. — *Denderleeuw* à Courtrai. — *La Pinte* à Leuze.

(3) 4e *Groupe*, ayant son centre à Tournai.
Tournai à Blandain. — *Courtrai* à Mouscron et à Tournai. — *Tournai* a Jurbise. — *Hal* à Ath. — *Ath* à Denderleeuw. — *Braine* à Grammont. — *Courtrai* à Renaix. — *Peruwelz* à Tournai. — *Leuze* à Saint-Ghislain.

1re *Section.* — *Courtrai* à la bifurcation de Ramegnies-Chin. — *Courtrai* à Renaix. — *Mouscron* à la frontière française.

M. Tossyn (A.-C.-V.), chef de section, à Courtrai.

2e *Section.* — *Ath* à Blandain. — *Leuze* à la bifurcation de Saint-Ghislain. — *Basècles* à Péruwelz et Tournai.

M. Moyson (O.-P.-C.), chef de section, à Tournai.

3e *Section.* — *Ath* à Denderleeuw.—*Ath* à la bifurcation de Hal.—*Ath* à Jurbise. *Grammont* à la bifurcation de Braine-le-Comte.

M. Rouffart (M.-E.), chef de section, à Ath.

5e *Groupe* (1).

M. Van Aelbroeck (A.), ingénieur de 1re classe, chef de service.

Adjoint : M. Ghilain (P.), sous-ingénieur.

1re *Section.* — *Braine* à Quiévrain. — *Mons* à Ciply et à Bonne-Espérance.

M. Brouet (J.-B.-E.), chef de section à Mons.

2e *Section.* — Lignes du *Flénu* et de *Saint-Ghislain.*

M. Depaepe (A.-A.-G.), ingénieur, chef de section, à Quaregnon.

6e *Groupe* (2).

M. Danaux (F.-J.), ✠, ingénieur principal de 2e classe, chef de service, à Bruxelles.

Adjoint : M. Goffin (F.-E.), ingénieur.

1re *Section.* — *Bruxelles* (Midi) à Manage. — Bureaux intérieurs de Bruxelles. — (Ultérieurement ligne de ceinture de Bruxelles et ligne de Bruxelles à Nivelles.)

M. Cousin (J.-B.), ingénieur, chef de section, à Bruxelles.

2e *Section.* — *Manage* à Luttre. — *Manage* à Wavre. — (Ultérieurement Nivelles à Luttre.)

M. Bonet (J.-J.-L.), chef de section, à Nivelles.

3e *Section.* — *Luttre* à Namur. — *Tamines* à Gembloux. (Ultérieurement ligne de ceinture de Charleroi.)

M. Losseau (E.), chef de section à Charleroi.

(1) 5e *Groupe,* ayant son centre à Mons.
Braine à Quiévrain. — *Mons* à Ciply et à Bonne-Espérance. — Lignes du *Flénu* et de *Saint-Ghislain.*

(2) 6e *Groupe,* ayant son centre à Bruxelles (Midi).
Bureaux intérieurs à Bruxelles. — *Bruxelles* à Braine. — *Braine* à Namur. — *Manage* à Wavre. — *Laeken* à Bruxelles (Midi). — Ceinture de Charleroi. — *Tamines* à Gembloux.

7e *Groupe* (1).

M. Thiriar (D.-A.-J.), ingénieur en chef de 2e classe, chef de service.

Adjoint : M. Chaspierre-Loizelier (L.-J.), sous-ingénieur.

1re *Section.* — *Manage* à Mons. — (Bassin). — *La Louvière* à Bascoup. — *La Louvière* à Saint-Hubert. — *Manage* à Piéton. — *Bascoup-Chapelle* à Trazegnies.

M. Blondiau (P.-J.), chef de section, à La Louvière.

2e *Section.* — *Baume* à Marchienne. — *Piéton* à Trazegnies et à Courcelle et prolongements. — Embranchements et Gares de Monceau, de Sart-le-Moulin et des autres établissements au Nord de Charleroi.

M. Basse (A.-L.-E.), chef de section à Fontaine-l'Évêque.

3e *Section.* — *Écaussines* à Erquelinnes. — *Piéton* à Leval. — Embranchements de Péronnes, de Strépy et de Baume-Jonction.

M. Daimeries (J.-B.), faisant fonct. de chef de section, à Binche.

CONSTRUCTIONS.

Projets de stations définitives, de bâtiments et dépendances, etc.; plans d'ensemble et de détail des constructions nouvelles; détails estimatifs, métrés, clauses et conditions des entreprises; direction immédiate et surveillance des travaux; réception des matériaux et des travaux; attributions relatives à la surveillance et au personnel comme au service des lignes.

En service général.

MM. Payen (A.-J.-J.), ✠, ingénieur principal de 1re classe, à Bruxelles.

Lambeau (A.-P.-J.), ✠, ingénieur principal de 1re classe, à Bruxelles.

De Man (G.-L.), ✠, ingénieur de 2e classe.

Diddaert (F.), chef de section, à Bruxelles.

Jeanmart (J.-F.), id. id.

Thein (N.), id. id.

Dekinder (H.-J.), chef de section, à Anvers.

(1) 7e *Groupe*, ayant son centre à Binche.
Mons à Manage. — *Écaussines* à Erquelines. — *Marchienne* à Baume. — Embranchements du Centre. — *Piéton* à Leval. — *Piéton* à Manage. — Embranchements de Péronnes, du Nord de Charleroi et de Courcelles (Nord). — *Piéton* à Trazegnies et à Courcelles, avec jonction du Nord de Charleroi et raccordement du puits Saint-Périer.

SERVICES DE LA TRACTION ET DU MATÉRIEL.

Arsenal des chemins de fer de l'État.

Grandes réparations, montage et renouvellement du matériel en général : locomotives, tenders, voitures, wagons, matériel fixe, engins, outils, ustentiles, etc.; confection de pièces de rechange spéciales ; travaux d'amélioration au matériel ; projets de modifications au matériel, arrêtées par la commission de l'arsenal ; projets de cahier des charges, clauses et conditions pour fournitures ; désignation des quantités à commander ; procès-verbaux de mises hors d'usage ; comptabilité des travaux ; justification de l'emploi des approvisionnements ; prévisions budgétaires et renseignements justificatifs à l'appui ; surveillance du nuit et service d'incendie ; police des ateliers ; personnel ; propositions en faveur des fonctionnaires, employés et ouvriers ; mesures disciplinaires, congés, instructions des plaintes et réclamations ; mesures urgentes commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte, sur-le-champ, au ministre, etc., etc.

M. Waleff (A.), ✠, ingénieur principal, directeur de l'arsenal des chemins de fer de l'État, à Malines.

Ateliers des locomotives.

M. Gillis (J.-T.), ingénieur de 1[re] classe, à Malines.
M. Steinmetz (A.-M.-A.), ingénieur de 2[e] classe, à Malines.

Ateliers des voitures.

M. Hubert (E.), ✠, ingénieur de 2[e] classe, à Malines.
M. Franquoy (F.), ingénieur de 3[e] classe, à Malines.

Service de la traction.

Réparation et emploi utile des locomotives ; sécurité et vitesse des trains en marche ; entretien et réparations courantes aux locomotives, tenders, engins, outils et ustensiles, etc. ; — commandes à l'arsenal ; amélioration du matériel et projets y relatifs ; épreuve des chaudières ; procédés nouveaux ; expériences et essais ; réceptions de combustible ; projets de cahier des charges et contrats ; surveillance des dépôts, visa des bons, etc. ; justification de l'emploi des approvisionnements ; procès-verbaux de mise hors d'usage ; instruction des machinistes ; surveillance du personnel ; visa des propositions en faveur du personnel, en général, relevant de leur service, ainsi que des mesures disciplinaires, congés, etc., etc. ; instruction des plaintes et réclamations ; comptabilité des travaux exécutés dans les ateliers des stations, comptabilité de l'emploi du combustible, des huiles de graissage, etc. ; prévisions budgétaires et renseignements justificatifs à l'appui ; mesures urgentes commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte, sur-le-champ, au ministre, etc., etc.

1er *Groupe* (1).

M. JAMART (J.-F.), ✠, ingénieur en chef de 2e classe, chef de service, à Bruxelles.

Adjoint : M. BIKA (L.-J.), ingénieur.

Ateliers de Liége.

M. HAMOIR (D.-S.-J.), sous-ingénieur.

Ateliers de Bruxelles (Nord).

M. WILLEAUME, (L.-J.-A,), sous-ingénieur.

Ateliers d'Anvers.

M. DELCHAMBRE (J.), faisant fonctions de sous-chef de section.

2e *Groupe* (2).

M. BLANQUAERT (J.-P.-F.), faisant fonctions d'ingénieur principal, à Gand.

Adjoints : M. COURTIN (A.-J.) ingénieur à Mons.

» M. MASUI (L.), sous-ingénieur à titre provisoire.

Ateliers de Gand.

M. MARÉCHAL (J.-A.-G.), faisant fonctions de sous-ingénieur.

Ateliers de Tournai.

M. KHOLER (J.-J.-A.), sous-chef de section de 1re classe.

3e *Groupe* (3).

M. SCHAAR (E.-E.-A.), ingénieur de 1re classe, faisant fonctions d'ingénieur principal, chef de service, à Charleroi.

Adjoint : M. DOCTEUR (F.-E.), ingénieur.

Ateliers de Charleroi.

M. N...

(1) 1er *Groupe*, ayant son centre à Bruxelles et embrassant, comme circonscription, le 1er et le 2e groupes des services des voies et travaux et de l'exploitation.

(2) 2e *Groupe*, ayant son centre à Gand et embrassant, comme circonscription, les 3e, 4e et 5e groupes des services des voies et travaux et de l'exploitation.

(3) 3e *Groupe*, ayant son centre à Charleroi, et embrassant, comme circonscription, le 6e et le 7e groupes des services des voies et travaux et de l'exploitation.

Ateliers de Bruxelles (Midi).

M. Massange (M.-F.-L.-A.), sous-ingénieur.

Ateliers de Namur.

M. Philippe, (A.-L.-J.), faisant fonctions de chef de section.

Service du matériel des transports.

Études des projets de voitures et wagons; inspection et surveillance du matériel de transport en service; surveillance spéciale du matériel étranger, au point de vue des garanties nécessaires pour la sécurité des transports (écartement, moyens de raccordement et d'attelage, etc.); enquêtes en matières d'avaries et d'accidents, etc.; visites et réparations courantes des voitures et wagons dans les stations; propreté du matériel à vovageurs; entretien des tapis, peaux de mouton, etc.; comptabilité des travaux et justification de l'emploi des approvisionnements; visa des propositions relatives au personnel en général; mesures disciplinaires et congés, instruction des plaintes et réclamations; mesures d'initiative commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte, sur-le-champ, au ministre, etc., etc.

M. Masui (T.), faisant fonctions d'ingénieur en chef, chef de service, Bruxelles.

Adjoints : M. Delarge (A.), ingénieur.

» M. Bollis (C.-V.-L.), ingénieur.

Ateliers de Braine.

M. Antoine, (L.-J.-H.), sous-chef de section.

Ateliers de Mons.

M. Deghillage (L.), faisant fonctions de chef de section.

Ateliers d'Ans.

M. Servranckx (L.-J.-H.), faisant fonct. de sous-chef de section.

Combustible, éclairage et chauffage.

Projets de cahiers des charges ou contrats pour fournitures de charbon, coke, briquettes, etc., nécessaires à l'alimentation des locomotives, machines fixes, forges, etc.; surveillance des fournitures; constatation des quantités livrées; incinérations, essais et réceptions du combustible; distribution et entretien des appareils d'éclairage des bureaux, salles d'attente, stations et leurs abords, ateliers et convois, etc.; chauffage des bureaux, ateliers, salles d'attente, voitures, etc.; emploi économique du gaz, de l'huile, du combustible, etc.; contrats d'éclairage et leur exécution rigoureuse; comptabilité des feux et

lumières; visa des propositions relatives au personnel, mesures disciplinaires; prévisions budgétaires et renseignements à l'appui; comptabilité du service et justification de l'emploi des matières; mesures d'initiative commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte, sur-le-champ, au ministre, etc., etc.

M. CAMBRELIN (F.-C.), ✠, ingénieur en chef de 1re classe, chef de service, à Bruxelles.

Adjoint : M. VAN MEURS (G.-E.-J), ingénieur.

SERVICE DES APPROVISIONNEMENTS.

M. LOOS, chef de bureau, faisant fonctions d'inspecteur, chef de service.

SERVICE DE L'EXPLOITATION.

Transports.

Surveillance de tous les détails du service; marche régulière et sécurité des convois; chargement, arrivage et déchargement de tous les objets confiés au transport; vérification du poids, notamment des charges complètes; répartition et emploi utile du matériel des transports; agrément et commodité des voyageurs; surveillance du matériel des convois; signaux, outils, boîtes de secours; instruction immédiate des plaintes, réclamations, retards, irrégularités, etc.; camionnage; formalités en matière de douane; police des stations, bureaux; salles d'attente, buffets-restaurants, abords des stations, voitures de place, commissionnaires, etc.; contrôle éventuel des coupons pendant la marche des trains et mesures préventives contre toute fraude; objets trouvés et articles en souffrance; vérification sommaire des gestions comptables; enquêtes immédiates lorsque le service est en cause, visa des propositions en faveur du personnel ainsi que des mesures disciplinaires, congés, etc.; mesures d'initiative commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte, sur-le-champ, au ministre., etc., etc.

1er Groupe (1).

M. SAUVIGNIER (J.-P.), O. ✠, officier de l'ordre du Sauveur de Grèce, inspecteur de 1re classe, chef de service, à Bruxelles.

Adjoints : MM. DETHIER (H.-L.), contrôleur.
BRAUN (F.-J.), vérificateur.
GODENIR (V.-J.), vérificateur.

2e Groupe.

M. THIRY (M.-H.), ✠, inspecteur de 1re classe, chef de service, à Liége.

Adjoints : MM. LATOUR (J.-G.-F.), contrôleur.
RUMMENS (P.-E.-M.), contrôleur.

(1) Les groupes de l'exploitation ont les mêmes centres et embrassent la même circonscription que les groupes des voies et travaux.

3e *Groupe.*

M. Haut (H.-A.), inspecteur de 2e classe, chef de service, à Gand.
Adjoints : MM. Michaux (J.-J.), contrôleur.
De Wildeman (A.-F.), faisant fonct. de vérificateur.

4e *Groupe.*

M. L'Hoir (L.-J.-F.), ✠, inspecteur de 1re classe, chef de service, à Tournay.
Adjoints : MM. Spalaert (L.), faisant fonctions de contrôleur.
Lepère (G.-F.-A.), vérificateur.

5e *Groupe.*

M. Wilkers (A.), ✠, inspecteur de 2e classe, chef de service, à Mons.
Adjoints : MM. Helin (C.-F.-V.), faisant fonctions de contrôleur.
Liard (C.-F.-L.-J.), vérificateur.

6e *Groupe.*

M. Fleury (C.-M.), ✠, inspecteur de 1re classe, chef de service, à Bruxelles.
Adjoints : MM. Geedts (P.-G.-F.), contrôleur.
Courtois (P.-G.-L.), vérificateur.
Delperdange (F.-E.), id.

7e *Groupe.*

M. Bertrand, inspecteur de 2e cl. chef de service, à Binche.
Adjoints : MM. Maes (H.), faisant fonctions de contrôleur.
François (E.-H.-J.-A.), contrôleur.
Burgeon (J.), vérificateur.

Relations internationales.

Rapports entre l'exploitation belge et celles des compagnies allemandes et françaises, qui sont en relation de service, échange de documents, publications, permis de libre parcours, etc. ; communication des améliorations ou modifications apportées par les lignes d'Allemagne au mode d'exploitation, matériel, tarifs, règlements, etc.

M. Hauchecorne (G.-L-.L.), ✠, ✠, chevalier de l'ordre de l'Aigle Rouge de Prusse, agent général, à Cologne.

SERVICE DES TÉLÉGRAPHES.

Projets et établissements des lignes nouvelles ; surveillance des bureaux et des lignes télégraphiques ; entretien des lignes et du matériel ; mesures à prendre à l'annonce des dérangements ; rapport avec le mécanicien chargé de l'entretien des appareils et accessoires ; services des horloges et relations avec les horlogers de l'administration ; instruction du personnel ; visa des propositions relatives au personnel ; mesures disciplinaires ; congés et absences, instruction des plaintes et réclamations ; mesures d'initiative commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte, sur-le-champ, au ministre, etc.

M. Gibbs (J.), ✠, inspecteur de 1re cl., chef de service, à Bruxelles.
Adjoints : MM. Delarge (F.-H.), ingénieur de 2e classe.
Banneux (J.-P.), sous-ingénieur.
Evrard (F.), id.
Schruers (P.-H.), contrôleur.
Stas (H.-D.), chef de bureau.
Van Tholl (F.-H.-J.-B.), vérificateur.

SERVICE DES POSTES.

Arrondissements postaux.

Améliorations à introduire dans le service en général.—Création, suppression et transformation de bureaux de postes ; emplacement des bureaux et des boîtes aux lettres, etc. ; conditions de sécurité pour la caisse et les correspondances ; appréciation et exécution des règlements d'ordre intérieur ; convenance des heures d'ouvertures et de fermeture du bureau : régularité et convenance des heures de distribution des correspondances et de levée des boîtes dans les villes ; composition et clôture des dépêches ; création et suppression de dépêches ; convenance des moyens de transport et des heures d'expédition et de réception, etc. ; exécution des lois, règlements et contrats, en ce qui concerne les messageries et relais ; régularité des heures de départ et d'arrivée, etc. ; service rural : organisation des tournées, leur utilité et la convenance des heures de sortie et de rentrée des facteurs : personnel ; aptitude administrative ; conduite et considération publique des agents ; feuilles de signalement ; propositions générales annuelles, etc. ; congés en ce qui regarde les chefs immédiats ; extension ou réduction des cadres, révocation, non-activité et dégradation ; recrutement des facteurs ; incompatibilités, uniformes, etc. ; procès-verbaux ou rapports d'enquête, de mission, etc. ; vérification sommaire de la comptabilité et des caisses des bureaux de poste ; mesures d'initiative commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte, sur-le-champ, au ministre, etc., etc.

Sont chargés de la surveillance incessante et de la direction immédiate des arrondissements postaux :

1er Arrondissement (Brabant).

M. VAN DE VELDE (E.-E.-P.), ✠, inspecteur de 1re cl., à Bruxelles.

2e Arrondissement (Anvers et Limbourg).

M. STEVENS (P.-M.-J.), ✠, inspecteur de 1re classse, à Anvers.

3e Arrondissement (Liége et Limbourg).

M. FAIN (J.-L.-M.), contrôleur, faisant fonct. d'inspecteur, à Liége.

4e Arrondissement (Hainaut).

M. ROGISTER (N.-E.), contrôleur faisant fonctions d'inspecteur, à Mons.

5e Arrondissement (Hainaut et Namur).

M. JACQUET (F.-J.), inspecteur de 2e classe, chef de service, à Charleroi.

6e Arrondissement (Flandre orientale).

M. DE BLOO (P.-J.), contrôleur, à Gand.

7e Arrondissement (Flandre occidentale).

M. DE LOM DE BERG (C.-H.-T), inspecteur de 2e classe, à Bruges.

8e Arrondissement (Namur et Luxembourg).

M. SAX-RIDELLE (C.-A.), ✠ inspecteur de 1re classe, à Namur.

Bureaux de poste ambulants.

Pour le transport des correspondances par le chemin de fer de l'État et les lignes concédées ; contrôle des opérations des bureaux correspondants : examen, au besoin constatation et redressement de l'état extérieur de toutes les dépêches adressées à ces bureaux ou par leur entremise ; vérification des prix d'affranchissement perçus, notamment pour l'étranger, de la direction des correspondances; offices étrangers correspondants : vérification de leurs dépêches et des taxes portées en compte, etc.; travail intérieur des bureaux : formation des dépêches par les bureaux ambulants ; vérification des moyens de conservation et des garanties de sécurité; régularité des opérations d'échange aux points de départ, de transbordement et d'arrivée : constatation par procès-verbal de l'état défectueux des dépêches; levée des boites dans les haltes et stations; propositions en faveur du personnel; congés; mesures disciplinaires, etc.; instruction des plaintes et réclamations.

M. THIMISTER (C.-P.-J.), ✠, chevalier de l'ordre du Christ de Portugal et chevalier de 3e classe de l'ordre de la Couronne de Prusse, inspecteur de 1re cl., chef de service, à Bruxelles.

Sont chargés, sous les ordres immédiats du chef de service :
1° D'assurer la régularité du travail et la marche du service dans les bureaux ambulants placés sous leur dépendance, savoir :

LIGNES DE L'EST.

M. DE CODT (G.-L.-G.), chef de bureau, à Bruxelles.

LIGNES DU MIDI.

M. COLINET (J.-L.-H.), chef de bureau, à Bruxelles.

LIGNES DU NORD-OUEST.

M. PERIER (E.-L.), chef de bureau, à Bruxelles.

Contrôle des recettes sur les chemins de fer de l'État.

Vérification approfondie de la comptabilité et des opérations de caisse de tous les bureaux de station, de poste et de télégraphe, situés sur les chemins de fer de l'État ; installation et séparation de gestion des comptables des mêmes bureaux ; procès-verbaux et vérification de la comptabilité et des situations de caisse ; procès-verbaux ou rapports d'enquête et de mission ; mesures urgentes ; commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte, sur-le-champ, au ministre, etc., etc.

En service général.

MM. FELSENHART (J.-P.-F.-A.), contr. de 1re classe, à Bruxelles.
HOCHSTEYN (J.-B.-G.-A.), contrôleur de 1re classe, à Bruxelles.
KESSELER (P.-M.-J.), id. id.
COUTEAUX (J.-V.), id. de 2e classe, à Bruxelles.
TRIONÉ (F.-E.), id. id.

Contrôle de la comptabilité administrative.

Vérification de la comptabilité justificative de l'emploi des approvisionnements et de la répartition de la main-d'œuvre, sur les commandes exécutées par les ateliers de l'arsenal et des stations ; — Vérification de la comptabilité du combustible, de l'huile de graissage, etc., par locomotive et par machiniste, au point de vue des primes d'économie ; — Vérification des comptes de réparations et d'avaries au matériel pour compte de tiers ; — Vérification de la comptabilité des feux et lumières ; etc., etc.

M. N...

Contrôle et vérification de la comptabilité des approvisionnements et du matériel en service.

Vérification de la comptabilité des approvisionnements réunis au magasin central et dans les dépôts; — Clôture et arrêt du grand-livre et des journaux d'entrée et de sortie ; — Recensement des approvisionnements en magasin ou en dépôt et confrontation avec la situation accusée par les écritures ; — Constatation des différences et des causes probables; — Appréciation des quantités approvisionnées, eu égard aux nécessités du service et constatation de toute exagération ainsi que des objets sans emploi ; — Vérification de la comptabilité du matériel en service ; — Constatation des différences, des avaries ou dégradations des objets sans emploi ou inutiles, etc., etc. ; — Vérification des approvisionnements de timbres-poste et de coupons Edmondson, et confrontation des quantités existantes avec la situation accusée par les écritures du conservateur du timbre ; — Installation et séparation de gestions des comptables; — Renseignements relatifs au personnel ; — Procès-verbaux de vérification des magasins, dépôts, inventaires, etc. ; — Rapports d'enquêtes ou de missions ; — Mesures urgentes commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte sur-le-champ, au ministre, etc., etc.

En service général.

MM. Wittmann (J.-F.-M.), contrôleur de 1re classe, à Bruxelles.
Didden (A.), id. id. id.
Defresne (J.-J.), id. id. id.
Hansens (J.-F.), contrôleur de 2e classe, à Bruxelles.
Dozo (F.-J.), vérificateur, à Bruxelles.
Max (E.-L.-L.-A.), id. id.

SERVICES COMPTABLES.

Magasin central.

Approvisionnement général d'objets de matériel, de consommation et de transformation ainsi que des fournitures de bureau et des imprimés ; — Ordre, classement et conservation de ces objets ; — Responsabilité de la gestion du magasin central ; — Délivrance des objets sur la production d'un bon en due forme et contre un récépissé pour décharge ; — Comptabilité générale ; — Remise à l'administration des domaines des objets déclarés hors de service par un procès-verbal approuvé par le ministre ; — Propositions concernant le personnel ; — Mesures d'initiative commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte, sur-le-champ, au ministre, etc., etc.

M. Mersch (J.-B.), chef de dépôt principal, à Malines.

Approvisionnement direct des services d'exécution.

Responsabilité des gestions comptable et administrative, du dépôt d'approvisionnement des objets de consommation, de transformation, etc., nécessaires à la marche journalière du service, dans les ateliers et stations sur les lignes, etc.; ordre, classement et conservation des approvisionnements; délivrance des objets sur la production d'un bon régulier, etc.; tenue de la comptabilité du dépôt et production périodique d'états de situation, d'inventaires, comptes de gestion, etc.; propositions concernant le personnel; mesures d'initiative commandées par les circonstances, sauf à en rendre compte, sur-le-champ, au ministre, etc., etc.

CHEFS DE DÉPÔT :

Dépôt de l'arsenal.

M. Boembeke (E.-A.-E.), de 1re classe.

Dépôt de Bruxelles (Nord).

M. Van Asbroeck (J.-F.-G.), faisant fonctions.

Dépôt de Bruxelles (Midi).

M. Vandenbossche (J.-A.-R.-E.), de 2e classe.

Dépôt de Charleroi.

M. Missotten (V.), de 2e classe.

Dépôt de Liége.

M. Schindeler (J.-M.), de 2e classe.

Dépôt de Gand.

M. Peppe (A.-F.-M.), de 1re classe.

Dépôt de Braine-le-Comte.

M. Ledocte (T.-D.), de 2e classe.

Dépôt de Mons.

M. Neervelp (E.-G.), de 1re classe.

Les chefs de dépôt sont placés sous l'autorité exclusive de la direction du contrôle des matières, pour tout ce qui est relatif à leur gestion comptable. Ils relèvent directement de la traction du matériel pour leur gestion administrative et sont placés, sous ce dernier rapport, sous la surveillance et l'autorité respective des chefs de service de l'arsenal et de la traction sur les lignes.

Service de fabrication des timbres-poste, timbres et formules télégraphiques et coupons Edmondson, etc.

CHEF DE FABRICATION.

M. Coulon (P.-J.), à Malines.

Service d'emmagasinage et de délivrance des timbres-poste, formules et timbres télégraphiques, coupons de voyageurs et coupons de service fabriqués à l'atelier, etc.

COMPTABLE.

M. Frantzen (E.-C.-U.), chef de dépôt principal, à Malines.

Commission directrice des Annales des travaux publics.

Président : M. **Visschers** (A.), membre du conseil des mines.

Vice-président : M. **Wellens** (F.), inspecteur général des ponts et chaussées.

Membres : MM. **Fassiaux** (C.-A.), directeur général des chemins de fer, postes et télégraphes.

Gernaert (J.), inspecteur général honoraire des mines.

Jochams (F.), inspecteur général des mines.

Boudin (E.-J.), professeur à l'école du génie civil, à Gand.

Maus (H.), inspecteur général des ponts et chaussées.

Poncelet (J.-N.-A), ingénieur en chef-directeur à l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes.

Trasenster (L.-J.), professeur à l'université de Liége.

Lamarle (E.), professeur à l'université de Gand.

Liagre (J.-B.-J.), lieutenant-colonel du génie.

Membres : MM. **Chandelon** (J.-T.-P.), professeur à l'université de Liége.

Stessels (A.-J.-G.-A.), lieutenant de vaisseau de 1re classe, commissaire permanent de l'Escaut.

Colignon (A), lieutenant-colonel d'artillerie.

Secrétaire : M. **Vinchent** (J.), ingénieur en chef-directeur à l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes

Secrétaire-adjoint : M. **Witmeur** (H.), sous-ingénieur des mines.

Commission pour l'examen des procédés nouveaux et des matériaux indigènes.

Président : M. **Jochams** (F.), inspecteur général des mines.

Vice-président : M. **Belpaire** (A.), ingénieur en chef-directeur à l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes.

Membres : MM. **Poncelet** (J.-N.-A.), ingénieur en chef-directeur à l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes.

Carez (M.), ingénieur en chef-directeur des ponts et chaussées.

Dedier (F.), ingénieur en chef-directeur à l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes.

Andries (Ch.), ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur à l'école du génie civil.

Maurissen (L.), ingénieur en chef-inspecteur de direction à l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes.

Marcq (M.), ingén. des ponts et chaussées.

Secrétaire : M. **Vinchent**, ingénieur en chef-directeur à l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes.

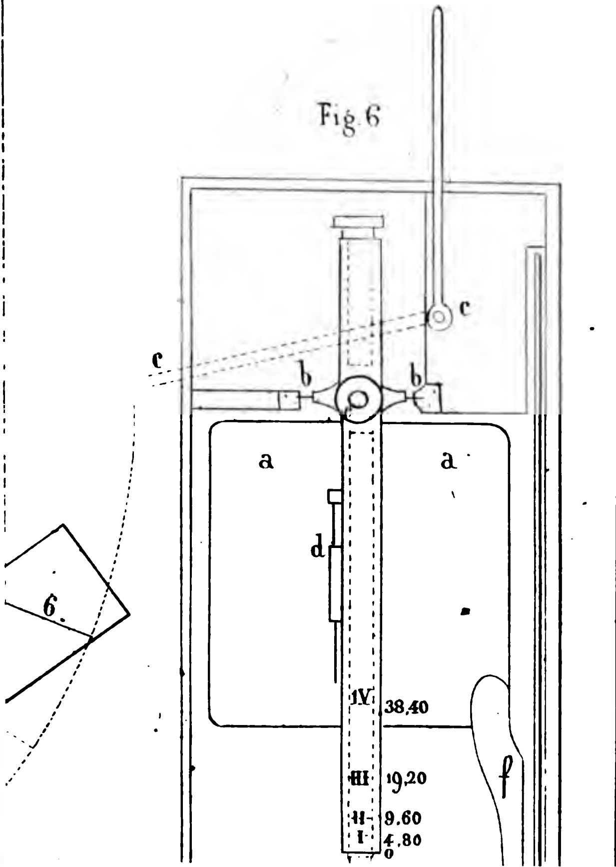
Secrétaire-adjoint : M. **Stevart** (A.), ingénieur.

Commission consultative pour la solution des questions qui se rattachent à la police des machines à vapeur.

Président : M. JOCHAMS (F.), inspecteur général des mines.
Vice-président : M. BELPAIRE (A.), ingénieur en chef à l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes.
Membres : MM. RUCLOUX, ingénieur en chef des mines.
LAGUESSE (E.), ingénieur en chef des mines.
ANDRIES (Ch.), professeur à l'école du génie civil, à Gand.
COLSON, industriel à Haine-Saint-Pierre.
BÈDE, industriel à Verviers.
THONARD (E.-J.-L.), sous-ingénieur des mines.
Secrétaire : M. WITMEUR (H.), sous-ingénieur des mines.

Conseil de la caisse des veuves et orphelins et conseil consultatif pour la collation des pensions de retraite.

Président : M. GROETAERS (G.-N.), directeur général de l'administration des ponts et chaussées et des mines.
Vice-président : M. EYCKHOLT (A.), inspecteur général des chemins de fer concédés en exploitation.
Membres : MM. MAUS (H.), inspecteur général des ponts et chaussées.
CHICORA (L.), membre du conseil des mines.
JANSSENS (J.), inspecteur général à l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes.


Fig. 6
c
c
b
b
a
a
d
6.
IV 38,40
III 19,20
II 9,60
I 4,80
0
f

